Gli speciali di **Sky at Night**

# LA LUNA

## NUOVE SCOPERTE E MISSIONI VERSO IL NOSTRO SATELLITE NATURALE

### CINA, INDIA, USA, UE TUTTI LA VOGLIONO

Corsa a un'egemonia politica spaziale o scientifica?

### SELENOCROMATICHE DEL SUOLO LUNARE

Le inedite esplorazioni italiane svelano colori e stratigrafie

### FOTO ESCLUSIVE E INEDITE

### SAREMO GLI ABITANTI DI UN "PIANETA DOPPIO"

Due corpi celesti uniti da un solo destino
In comune GPS e sistemi di comunicazione

### I SEI SITI LUNARI DOVE SIAMO STATI

Gli astronauti che hanno fatto la Storia fotografati in alta definizione

### BERE L'ACQUA DELLE COMETE

Le sonde spaziali hanno misurato il ghiaccio depositato intorno ai poli

### ETERNA LUCE E PERPETUO BUIO

All'ombra dei picchi sempre illuminati dal Sole

Sprea EDITORI

# IN EDICOLA

Scansiona il QR Code

Acquistala su www.sprea.it/scienze
disponibile anche in versione digitale

# UNA AMERICANA O UN CINESE?

Il prossimo essere umano a camminare sulla Luna sarà americano (come l'ultimo, Eugene Cernan, 14 dicembre 1972) o cinese? Se stiamo agli annunci, l'equipaggio di Artemis III dovrebbe raggiungere la Luna entro il 2026 e per la prima volta sul nostro satellite sbarcherà una donna. La Cina parla del 2029. Si accettano scommesse. Personalmente, a malincuore, punterei sulla Cina. Il motivo è semplice. Artemis ha già avuto due rinvii e altri arriveranno per le giuste cautele che i viaggi spaziali richiedono. La Cina può permettersi di essere più spregiudicata, e di solito non ammette rinvii. In ogni caso, la corsa è partita.

Se diamo uno sguardo ai settant'anni di esplorazione spaziale che abbiamo alle spalle, riconosciamo tre grandi epoche. La prima va dallo Sputnik sovietico nel 1957 all'ultimo sbarco sulla Luna nel 1972. La seconda, dagli anni '70 al 2012, è l'epoca dello Shuttle e della colonizzazione dell'orbita bassa con le prime stazioni spaziali: un crescendo dalle piccole Saljut, a Skylab, alla Mir, fino alla colossale Iss. Questa è anche l'epoca della grande ricognizione del Sistema solare con sonde automatiche: tutti i pianeti e i loro satelliti, alcuni asteroidi e qualche cometa sono stati raggiunti da navicelle americane, russe, europee, giapponesi, cinesi. In quarant'anni l'astronomia del sistema solare si è trasformata in geologia comparata. La terza epoca è all'inizio: prevede la conquista dell'orbita alta con una stazione spaziale – Gateway – che replichi nello spazio profondo ciò che è stata la Iss per l'orbita bassa, permetta il ritorno non episodico sulla Luna e diventi la base di partenza del primo volo interplanetario a largo raggio.

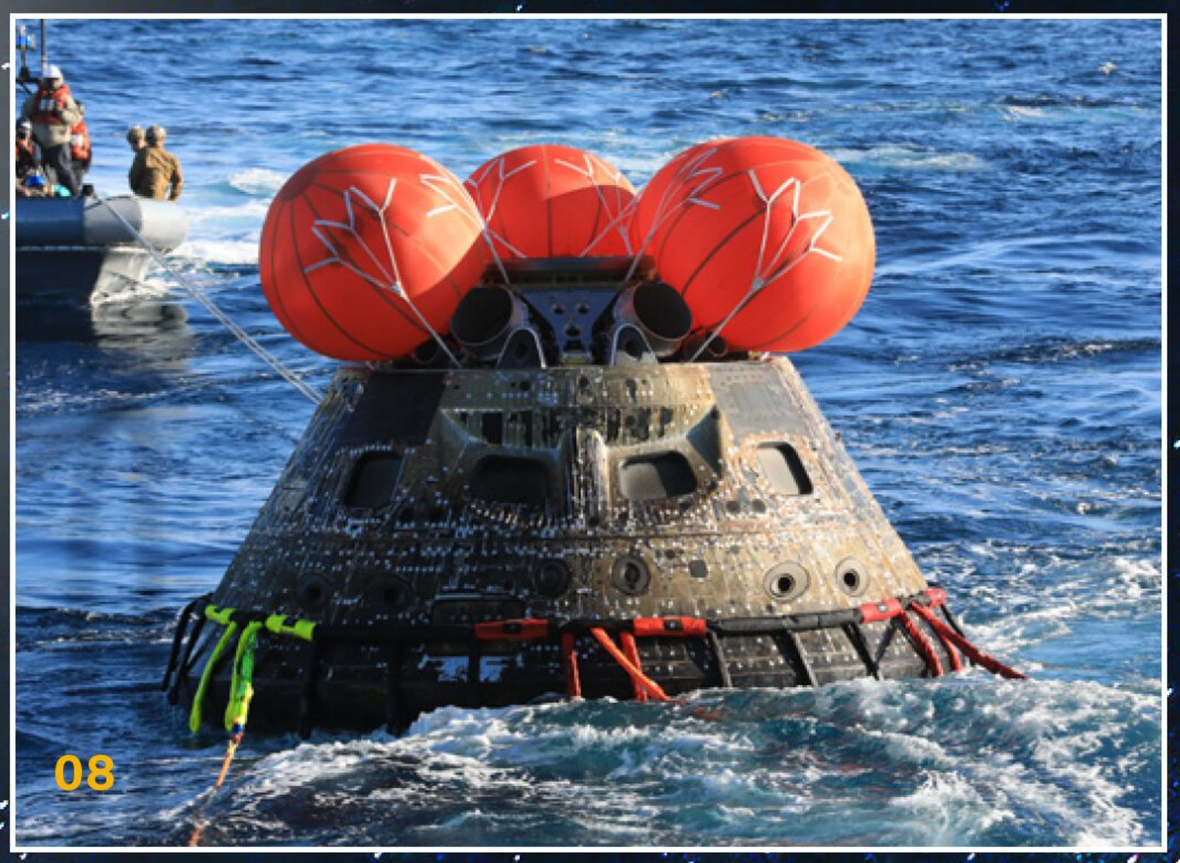
Volendo fare un parallelo con l'esplorazione via mare del nostro pianeta, la prima fase corrisponde alle navi dei Fenici che costeggiarono il Mediterraneo, la seconda allo sbarco in America di Cristoforo e la terza ai grandi viaggi di esplorazione sistematica intorno al mondo, da Magellano a Darwin. A proposito di Magellano, Giovanni Bignami, che di spazio se ne intendeva, ha scritto: «Anche lì vi era l'ignoto davanti alla prua, tante navi per aumentare la probabilità che almeno qualcuno (e saranno pochi) ce la faccia, tante nazionalità diverse».

Dal 1969 al 1972 dodici astronauti hanno camminato sulla Luna accumulando ognuno circa dieci giorni trascorsi nelle loro astronavi pressurizzate e alcune decine di ore sulla superficie lunare. Sei astronauti compagni dei dodici *moowalker* hanno provato la totale solitudine nello spazio profondo: il primo a fare questa esperienza, Michael Collins, è morto il 28 aprile 2021, l'ultimo, Ken Mattingly dell'Apollo 16, se n'è andato il 31 ottobre dell'anno scorso. Dei *moonwalker* rimane "Buzz" Aldrin, il secondo a scendere la scaletta di Apollo 11 (1969).

Sembrava che tutto si fosse fermato, ma non è così. Benché sia innegabile un calo di motivazione nei governi e nelle loro agenzie, l'esplorazione dello spazio, delegata alle macchine, ha conseguito successi meravigliosi. In realtà dal tempo delle missioni Apollo nulla si è fermato nella scienza e nella tecnologia. Oggi abbiamo razzi recuperabili che tornano atterrando in piedi sulla base di partenza. Ma è molto cambiata la geopolitica. Secondo il Trattato sullo spazio extra-atmosferico, la Luna è di tutti. Sarà così anche per le potenze emergenti?

**Piero Bianucci**

# SOMMARIO




**03 EDITORIALE**
Una americana o un cinese?

**06 LA LUNA IN CIFRE**

## ESPLORAZIONE
**Presente e futuro delle missioni umane**

**08 ARTEMIS E GATEWAY**
Una donna e un uomo di colore al polo sud entro il decennio
*Di Piero Bianucci*

**14 TUTTI LA VOGLIONO**
Riparte la corsa alla Luna
*Di Giancarlo Riolfo*

**20 ARCHEOLOGIA LUNARE**
Tra scienza e inquinamento, tracce umane sul nostro satellite
*Di Piero Bianucci*

## GEOLOGIA
**Come è fatto il nostro satellite**

**26 MONTAGNE LUNARI, IMPRONTE COSMICHE**
Le vette del nostro satellite sono il bordo di antichi crateri

**32 CRATERI E CIRCHI, MILIONI DI IMPATTI**
Un mondo crivellato da asteroidi e meteoriti

**38 MARI, GOLFI, TERRE E SOLCHI**
Oceani senza acqua disegnati da impatti di asteroidi

**44 FACCIA NASCOSTA PRIMATO CINESE**
I primi campioni di suolo riportati dalla sonda Chang'e 6
*Di Piero Bianucci*

**50 BERREMO L'ACQUA DI ANTICHE COMETE**
Le riserve idriche nel sottosuolo del polo sud lunare

**54 LA LUNA PARLA A COLORI**
Selenocromatica: il nostro satellite come non lo avete mai visto
*Di Aldo Ferruggia*

## PIANETA DOPPIO
**Terra e Luna, una coppia speciale**

**60 COMUNE ORIGINE UN SOLO DESTINO**
Un impatto catastrofico ed ecco la Luna
*Di Piero Bianucci*

**66 INFLUSSI LUNARI VERI E PRESUNTI**
Le maree l'effetto più vistoso, le stagioni il più importante

**70 OGNI CULTURA HA LA SUA LUNA**
Dea, mito, simbolo, oggetto astronomico

## ALTRE LUNE
**Piccole, grandi, forse vive**

**74 DEIMOS E PHOBOS UNA COMETA INTORNO A MARTE?**
Una nuova ipotesi sull'origine delle lune del pianeta rosso
*Di Alberto Agliotti*

**80 I MONDI DI GIOVE**
Satelliti galileiani, modelli speciali per lo studio dei pianeti e della vita

**86 ENCELADO, TITANO E TUTTE LE ALTRE**
Saturno pullula di satelliti di ogni forma e dimensione

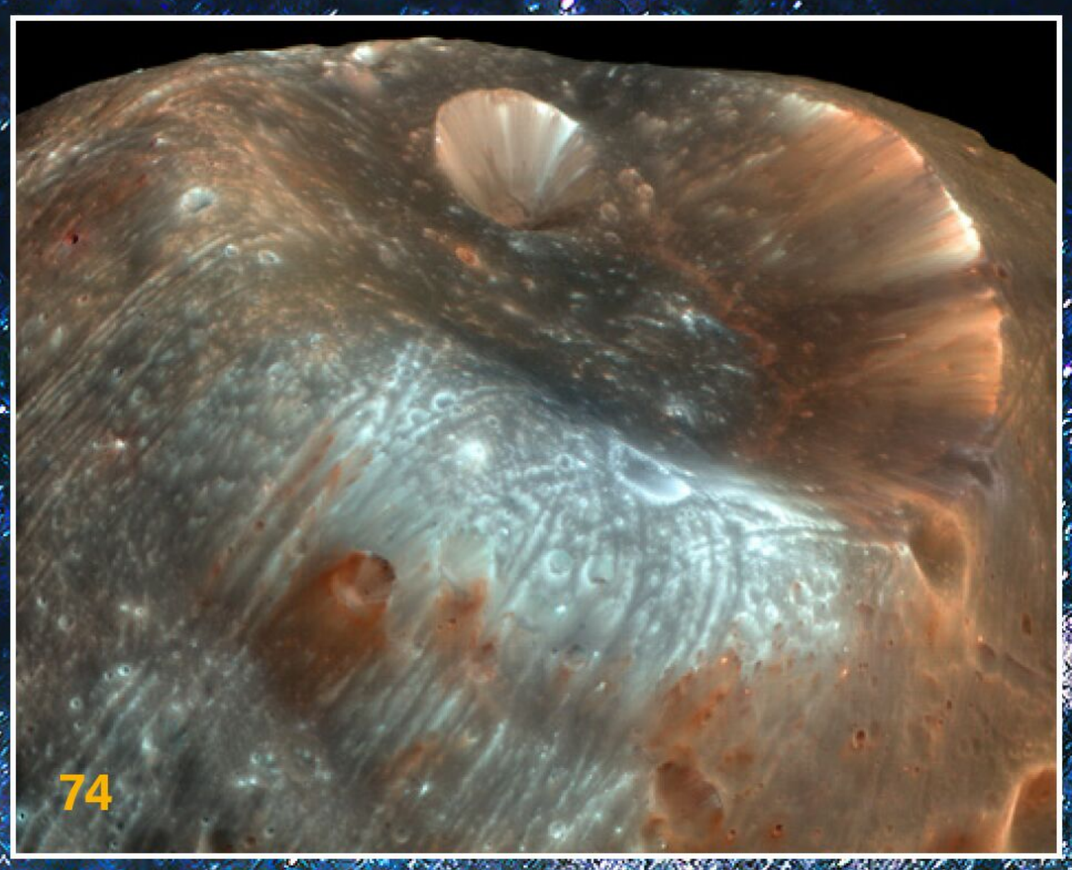
**92 SATELLITI DI PERIFERIA**
Urano, Nettuno, Plutone e le loro lune

**98 ESOLUNE**
I satelliti sono la regola solo nel Sistema solare?
*Di Alberto Agliotti*

## ASTROFILI
**La Luna dal balcone**

**102 TRUCCHI PER UNO SCATTO PERFETTO**
Con i giusti accorgimenti può dare grandi soddisfazioni
*Di Walter Ferreri*

**108 GALLERIA DEI LETTORI**
Il vostro safari fotografico



74

102


Certificato PEFC
Questo prodotto è realizzato con materia prima da foreste gestite in maniera sostenibile e da fonti controllate
www.pefc.it
PEFC/18-31-379

NOI RISPETTIAMO L'AMBIENTE!
Questo speciale è stato stampato su carta certificata PEFC, proveniente da piantumazioni a riforestazione programmata e perciò gestite in maniera sostenibile

# LA LUNA IN CIFRE

| | |
|---|---|
| **Distanza media dalla Terra:** | 384.401 km (oltre trenta volte il diametro terrestre) |
| **Distanza minima dalla Terra (perigeo):** | 356.000 km |
| **Distanza massima dalla Terra (apogeo):** | 406.700 km |
| **Distanza Terra-Luna in tempo-luce:** | 1,3 secondi |
| **Eccentricità dell'orbita:** | 0,0549 |
| **Distanza del centro di gravità Terra-Luna dal centro della Terra:** | 4670 km |
| **Diametro angolare medio visto dalla Terra:** | 31' 05'', 2 |
| **Magnitudine della Luna piena:** | -12,6 |
| **Inclinazione rispetto all'eclittica:** | 5° 8' 43'' |
| **Mese sinodico (ritorno alla stessa fase):** | 29g 12h 44m 2,8s |
| **Mese anomalistico (ritorno al perigeo):** | 27g 13h 18m 33,1s |
| **Velocità orbitale media:** | 3681 km/h = 1,023 km/s |
| **Velocità angolare media:** | 33' all'ora |
| **Librazione in longitudine:** | 7° 54' |
| **Librazione in latitudine:** | 6° 50' |
| **Diametro:** | 3476 km |
| **Circonferenza all'equatore:** | 10.920 km |
| **Velocità di fuga:** | 2,38 km/s |
| **Temperatura notturna:** | da -170 a -185°C |
| **Temperatura massima diurna:** | +130°C |
| **Temperatura costante un metro sotto la superficie:** | -35°C |

► La mappa di Cassini è uno straordinario documento, realizzato sulla base di una vasta serie di disegni della superficie lunare osservata con i telescopi costruiti da Giuseppe Campani. Gli astronomi chiamano questa carta «une déclaration d'amour». Cassini aveva sposato nel 1673 Geneviève de Laistre: il suo profilo è tratteggiato in basso a destra, come dettaglio del promontorio Eraclide della Iridum Sirtis, che guarda un cuore stilizzato

**Giandomenico Cassini** (1625-1712)
*Grande carta della Luna*, 1787
Biblioteca dell'INAF-Osservatorio Astronomico di Brera

# ESPLORAZIONE

Presente e futuro delle missioni umane

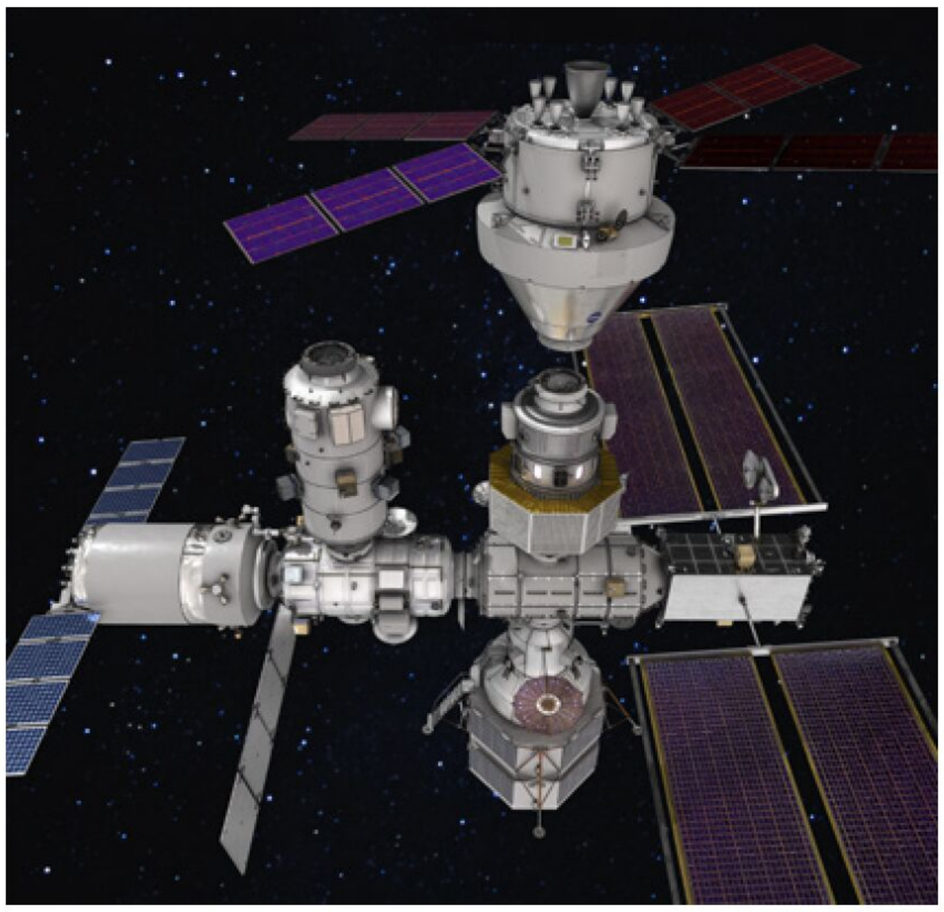
# ARTEMIS E GATEWAY

UNA DONNA E UN UOMO DI COLORE AL POLO SUD DELLA LUNA ENTRO IL DECENNIO: COSÌ COMINCERÀ LA COLONIZZAZIONE DELL'OTTAVO CONTINENTE. GLI OBIETTIVI SONO SCIENTIFICI MA ANCHE STRATEGICI, ECONOMICI E POLITICI.

Fare della Luna l'ottavo continente. Dovrebbe essere questa l'eredità che il secolo XXI lascerà ai posteri. In altre parole, rendere il sistema Terra-Luna un "pianeta doppio" non solo sotto l'aspetto astronomico - quale è da sempre - ma anche da un punto di vista sociale, economico, politico. Il paragone con l'ottavo continente non è fantasioso: stiamo parlando di una superficie complessivamente di 38 milioni di chilometri quadrati, un po' più dell'Africa (30,5 milioni) e un po' meno dell'Asia (44,5).

Molti paesi stanno lavorando al miraggio dell'ottavo continente. Sono in prima fila la Cina (con la Russia) e il blocco Usa-Europa. Si riproduce la dialettica strategica della guerra fredda tra Paesi autocratici e democratici. Dei programmi cinesi sappiamo poco: puntano all'emisfero lunare nascosto e hanno dimostrato di avere le carte in regola. Si sa tutto, invece, del Programma Artemis del blocco Usa-Europa, tradizionalmente associato a Canada e Giappone.

Artemis I (16 novembre-11 dicembre 2022), missione circumlunare che aveva a bordo solo tre manichini, ha avuto successo. Di Artemis II, che dovrebbe replicare quel volo nel settembre 2025 con equipaggio a bordo, conosciamo i quattro astronauti, tra i quali troviamo la prima donna, la prima persona di colore e la prima non statunitense. Il messaggio politico è chiaro. I quattro designati sono gli statunitensi Christina Koch, Victor Glover, Gregory Reid Wiseman e il canadese Jeremy Hansen. Vaga è ancora la missione Artemis III, che porterà al polo sud lunare la prima donna e il primo uomo di colore. ▶



Nasa (x2)

◄▲ La stazione spaziale Gateway, in orbita intorno alla Luna, ospiterà la navicella Orion e la navicella logistica per lo spazio profondo di SpaceX e fungerà da zona di smistamento per materiali ed equipaggi da e per la Luna

NASA/Kim Shiflett

▲ L'equipaggio di Artemis II all'interno del "Neil Armstrong Operations and Checkout Building" del Centro spaziale Kennedy della Nasa, in Florida, davanti al modulo Orion. Da sinistra: Jeremy Hansen, specialista di missione, Victor Glover, pilota, Reid Wiseman, comandante, e Christina Hammock Koch, specialista di missione

Il Programma Artemis guarda alla Luna in una prospettiva di colonizzazione, e quindi di sistema: satelliti per le telecomunicazioni, Gps lunare, villaggio-laboratorio al Polo Sud, autonomia energetica, il tutto servito da una stazione spaziale intermedia in orbita lunare, chiamata *Gateway*, cioè passaggio o entrata, con un volume abitabile di 125 metri cubi.

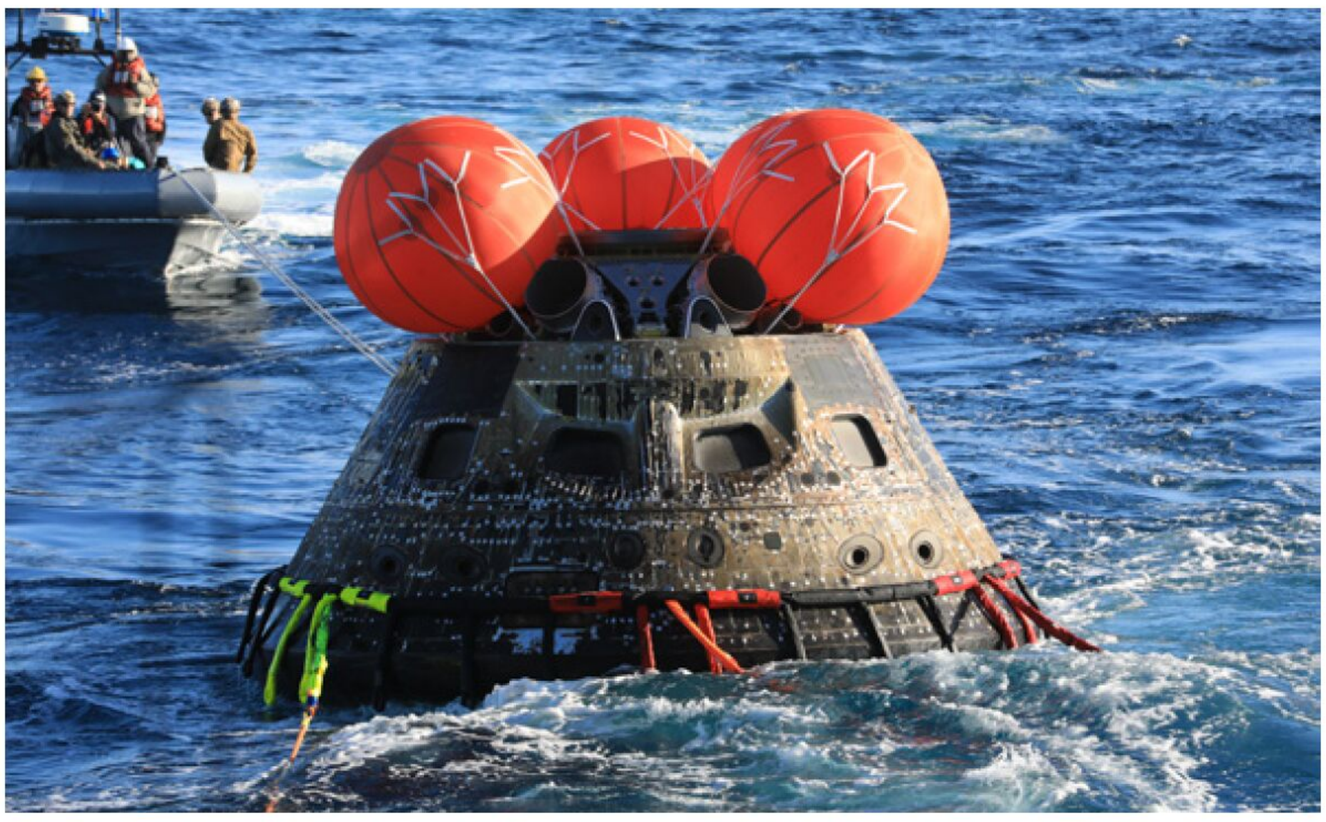
Torinese per un terzo della sua vita, berlinese durante la maturità e parigino in vecchiaia, con una biografia così cosmopolita Lagrange non poteva rimanere estraneo a Gateway, che infatti sorgerà in uno dei "punti lagrangiani" da lui individuati come soluzioni particolari del "problema dei tre corpi": in questo caso si tratta di L1, tra la Terra e la Luna. L'idea è di presidiare la stazione in orbita cislunare Gateway con turni trimestrali di quattro astronauti mentre vicino al polo sud della Luna altri astronauti aiutati da robot procederanno nella preparazione di insediamenti abitabili e impianti per produrre, con materie prime reperibili sul posto, acqua, ossigeno, cibo, energia e propellenti per razzi.

Mentre si prepareranno queste strutture, alcune agenzie private americane pensano di poter proporre a turisti miliardari e coraggiosi circumnavigazioni della Luna e forse brevi soggiorni sulla sua superficie. Da Gateway si godrà una magnifica vista sulla Terra da un lato e sulla Luna dall'altro. Poiché Gateway sarà molto più vicina alla Luna che alla Terra, i due astri avranno all'incirca le stesse dimensioni apparenti coprendo una regione di cielo nove volte maggiore della Luna piena.

Con l'ingresso di agenzie private nelle attività spaziali si pongono questioni giuridiche nuove. Di chi sono lo spazio circumterrestre, orbite a varie quote e Punti di Lagrange? Di chi è la Luna, toccata per la prima volta da piedi americani? Di chi è Marte? E gli asteroidi, potenziali miniere di materie prime lungo le rotte interplanetarie? Come la mettiamo con i furbi che hanno "venduto" ad affaristi ingenui, o forse troppo astuti, appezzamenti sulla Luna e su Marte, future aree di speculazione edilizia?

Sono interrogativi che hanno aspetti militari ed economici: sulla Luna c'è elio 3, isotopo essenziale per i futuri reattori a fusione nucleare. Per decenni solo Russia e Stati Uniti hanno avuto accesso allo spazio. Poi sono arrivate altre agenzie nazionali, prima di tutte quella europea (Esa), poi quelle del Giappone, del Canada, dell'India, degli Emirati Arabi e varie imprese private. Il Trattato sullo spazio extra-atmosferico del 1967 assimilava il dominio extraterrestre all'Antartide e alle acque oceaniche, che non possono essere rivendicate da nessuno Stato, sono di tutti e di nessuno. Il Trattato ha avuto alcuni aggiornamenti ma in pratica oggi è superato dai progressi tecnologici e dai progetti di colonizzazione extraterrestri.

▼ La capsula Orion della missione Artemis II, ammarata l'11 novembre 2022 dopo il rientro dalla Luna



NASA

## I NUMERI DEL PROGETTO GATEWAY

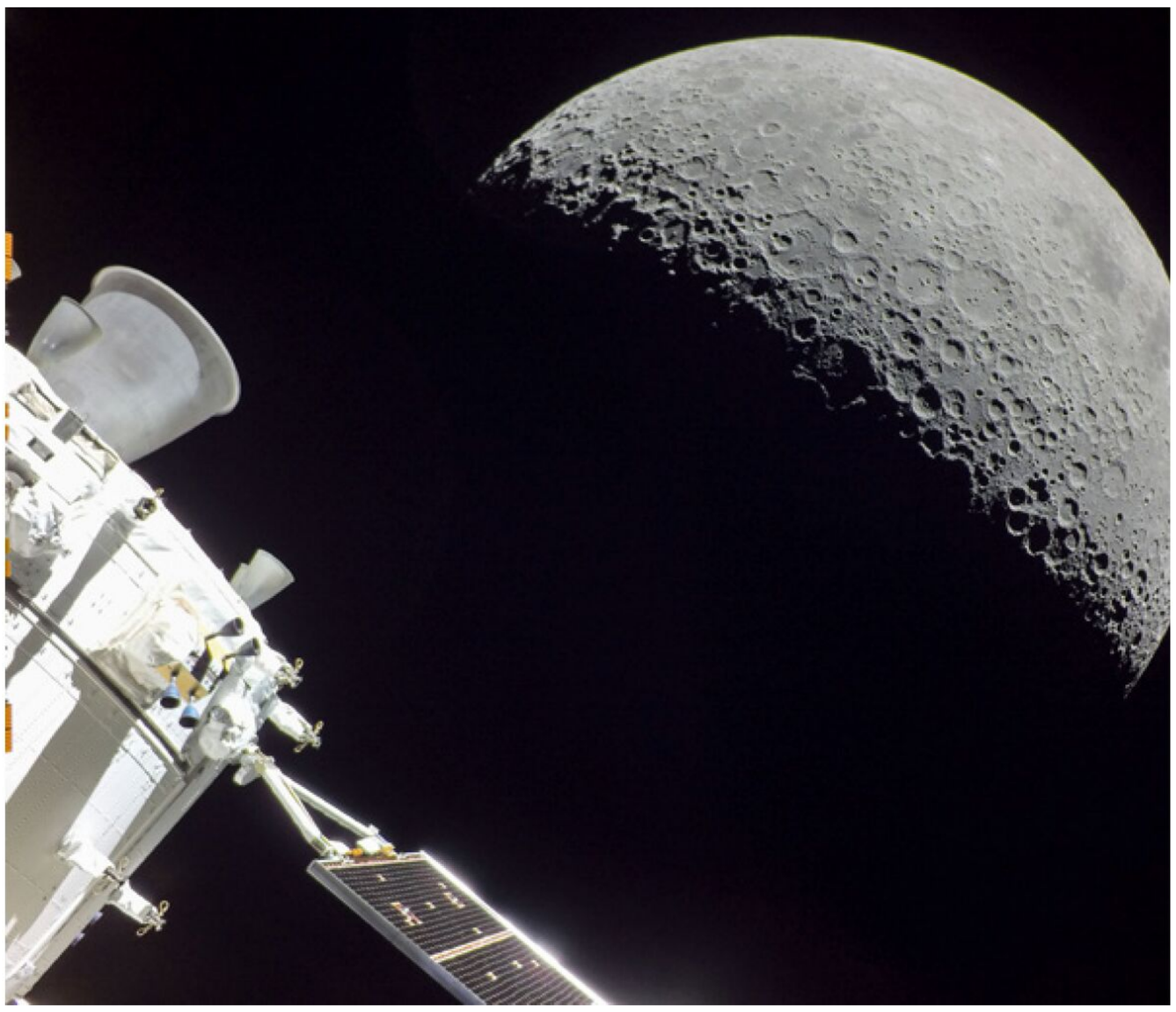
| | |
|---|---|
| **Volume pressurizzato abitabile:** | 125 metri cubi (ISS 1200) |
| **Equipaggio massimo:** | 4 astronauti |
| **Permanenza astronauti:** | da 11 a 90 giorni |
| **Massa:** | 40 tonnellate (ISS 420) |
| **Lancio pianificato:** | 2028? (primi 2 moduli) |
| **Veicoli utilizzati:** | SpaceX, Blue Origin, ULA Vulcan Centaur |
| **Orbita:** | cislunare polare |
| **Periodo orbitale:** | 7 giorni |
| **Periselene:** | 3000 chilometri dalla Luna |
| **Aposelene:** | 70.000 chilometri dalla Luna |
| **Moduli principali:** | abitativo-logistico, propulsivo, abitativo internazionale |
| **Alimentazione elettrica:** | pannelli solari fotovoltaici |
| **Partner:** | Nasa, Esa, Jaxa (Roscosmos si è ritirata nel 2021) |
| **Ricerche scientifiche:** | fisiologia umana, biologia, astrofisica |

Si va avanti in ordine sparso. Nel 2016 il governo americano ha concesso alla compagnia Moon Express l'autorizzazione a far atterrare i propri veicoli sul nostro satellite naturale. Poteva farlo?
La prima circumnavigazione turistica della Luna l'ha prenotata il miliardario giapponese Yusaku Maezawa firmando un accordo con la SpaceX di Elon Musk. Si chiama DearMoon, cara Luna. L'anno che i contraenti ritenevano possibile era il 2024 ma l'intera missione è visionaria. Se ne riparlerà a fine decennio. In un video promozionale Maezawa ha offerto un passaggio gratuito al regista di *First Man* Damien Chazelle e all'attore protagonista del film Ryan Gosling. Chazelle ha risposto che ci deve pensare dopo averne parlato con sua moglie.
Dal punto di vista della tecnologia, possiamo contare sui grandi sviluppi dei computer, dell'Intelligenza Artificiale, della robotica, delle stampanti 3D, dei razzi recuperabili. Il formidabile balzo dei microprocessori si riassume in poche cifre. Capostipite fu l'Intel 4004 del 1971 con 2300 transistor che misuravano 10.000 nanometri. L'ultimo discendente si aggira su 100 miliardi di transistor che misurano 5 nanometri. Un nanometro (cioè un milionesimo di millimetro) è l'ordine di grandezza di un atomo. Parallelamente sono diminuiti i costi: se il prezzo di una Ferrari fosse sceso con lo stesso andamento, oggi dovrebbe essere in vendita a 2 euro. Ancora più eloquente è il confronto con il computer a disposizione di Armstrong per scendere sulla Luna: 12 mila transistor in una scatola che misurava 60 centimetri per 30 e 17 centimetri di altezza.
Gateway metterà a frutto tutte le esperienze accumulate con la Iss, ma non la più importante, cioè la collaborazione internazionale. I conflitti in Ucraina e nel mondo arabo, l'imperialismo di Putin e di Xi Jiping hanno avvelenato il clima.
La corsa di Artemis è partita, la data di arrivo incerta. Nel dicembre 2020 il presidente della Nasa Jim Bridenstine ha presentato i nomi dei 18 astronauti che parteciperanno al programma Artemis di ritorno alla Luna. Il nome della dea della caccia è stato scelto per mettere in evidenza che per la prima volta - sessant'anni dopo Apollo 11 - una ▶

▼ Durante la missione Artemis I, la capsula Orion si è allontanata dalla Terra 430 mila chilometri, la massima distanza raggiunta finora da un veicolo adibito al trasporto umano.
Il record precedente apparteneva ad Apollo 13

donna scenderà sul nostro satellite (ma attenzione all'effetto boomerang: si raggiunge la parità di genere sulla Luna prima che sia riconosciuta sulla Terra, incluse alcune democrazie avanzate).
Gli astronauti viaggeranno a bordo di Orion, astronave di prossima generazione per i voli nello spazio profondo. La traversata verso la Luna e il rientro avverranno su un modulo di servizio europeo che assicurerà tutti i supporti vitali: acqua, cibo, ossigeno, condizionamento termico. Un astronauta del vecchio continente dovrebbe far parte del primo equipaggio che raggiungerà Gateway. Nella suddivisione dei compiti, l'Esa ha inserito il proprio progetto Moon Village, insediamento lunare già studiato nei minimi particolari.
L1, dove sorgerà Gateway, il punto lagrangiano sulla direttrice Terra-Luna, si trova a poco più di 300 mila chilometri dalla superficie terrestre e a 60 mila dal nostro satellite naturale. Pur orbitando intorno alla Terra, un oggetto che si trovi in quella posizione tende a rimanere relativamente stabile sia rispetto alla Terra sia rispetto alla Luna, della quale assume all'incirca il periodo orbitale. L'uso di espressioni approssimative è d'obbligo. Il sistema Terra-Luna non è isolato, "sente" complicate perturbazioni gravitazionali dovute al Sole e ai pianeti, specialmente Giove e Venere. Gateway si muoverà in L1 lungo un percorso labirintico apparentemente casuale, una specie di "moto browniano" su scala astronomica anziché molecolare.
In realtà dobbiamo immaginare L1 non letteralmente come un "punto" ma piuttosto un'ampia rotonda, uno svincolo stradale dal quale, con una lieve spinta in una direzione o nell'altra, l'oggetto imbocca percorsi diversi: verso la Luna, verso la Terra o verso lo spazio interplanetario esterno al sistema. Intorno alla Luna Gateway seguirebbe un'orbita polare molto ellittica, quindi quasi rettilinea, con il punto più vicino a

▲ Cape Canaveral, 16 novembre 2022. Partenza della missione Artemis I, primo volo per testare i diversi componenti del sistema di esplorazione: la capsula Orion, il modulo di servizio European Service Module, il lanciatore SLS e i sistemi di terra



NASA (x2)

▲ Autoritratto di Orion, entrata nella sfera di influenza gravitazionale della Luna. Il modulo di servizio che fornisce propulsione, energia e supporto vitale alla navicella è stato sviluppato dall'Agenzia spaziale europea

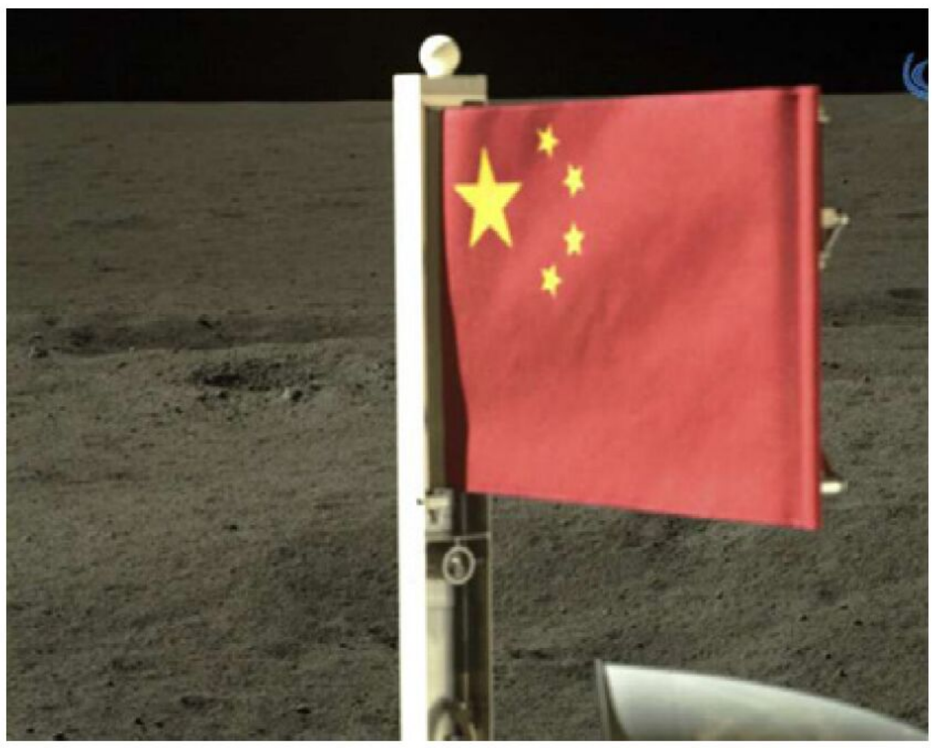
3000 chilometri dal polo sud lunare e a 70 mila il punto più lontano dalla Luna (aposelene).
Gateway assume così il suo vero significato: una zona di transito e smistamento del traffico, una piattaforma spaziale dalla quale alcuni astronauti - una decina - raggiungeranno il cantiere degli insediamenti sulla Luna, e dove gli astronauti residenti studieranno su se stessi gli effetti biologici e psicologici della permanenza nello spazio profondo. La manovra a distanza dei robot che sulla Luna prepareranno il cantiere sarà tra i compiti più importanti degli astronauti residenti.

## La Terra sarà il vero spettacolo

La Luna gira su sé stessa in 27 giorni e 7 ore. Abbiamo quindi giorni e notti che durano due settimane. Poiché manca l'azione moderatrice dell'atmosfera, che sulla Terra ci regala albe e crepuscoli e - tramite gli oceani e i venti - distribuisce il calore solare, sulla Luna dobbiamo fare i conti con 14 giorni roventi a 123°C dal primo all'ultimo minuto e 14 giorni gelidi a più di 100°C sotto zero. In vicinanza dei poli, nei posti dove per il gioco delle ombre si alternano periodi di luce a periodi di buio profondo, gli sbalzi termici saranno più frequenti. Dove i raggi solari non arrivano mai la temperatura scende a 233°C sotto zero.
Il giorno lunare è spietato, la notte anche, con l'unico sollievo del "chiaro di Terra", cioè della luce che il nostro pianeta riflette verso la Luna. Nel cielo della Luna la Terra è perennemente visibile, con un disco quattro volte più grande di quello lunare, 15 volte più esteso e 50 volte più luminoso, che attraversa fasi simmetricamente opposte: Terra piena quando la Luna è nuova, Terra nuova quando la Luna è piena e così via. I terrapiattisti forse si convinceranno della sua sfericità e della sua rotazione vedendo scorrere sotto i loro occhi oceani e continenti ogni 24 ore. Ma pur essendo sempre sopra l'orizzonte lunare, la Terra non apparirà immobile rispetto alle stelle che le brillano intorno. Le librazioni (oscillazioni della Luna in longitudine e in latitudine) danno l'impressione che la Terra segua nel cielo lunare un percorso ovale dal diametro di 18 gradi, cioè 9 volte maggiore del disco terrestre visto dalla Luna.
Paradossalmente, per i turisti che visiteranno il nostro satellite contemplare la Terra sarà l'esperienza più memorabile. Blu gli oceani, candidi i sistemi nuvolosi in continua evoluzione, luccicanti le calotte polari, sfumature verdi e gialle nelle regioni continentali, l'anello biancoazzurro dell'atmosfera. La Terra rimanda nello spazio il 36% della luce che riceve dal Sole contro il misero 7-10% della Luna: vista da lassù è un pianeta imponente per dimensioni e luminosità. Dove è notte si scorgerà una fine ragnatela di luci, unico indizio di vita percepibile da quella distanza. ■

# CINA E GLI ALTRI: TUTTI LA VOGLIONO

RICOMINCIA L'ESPLORAZIONE UMANA DELLA LUNA. IN CORSA ANCHE PECHINO, CHE INTENDE SBARCARE I PROPRI ASTRONAUTI ENTRO LA FINE DEL DECENNIO. INDIA E RUSSIA NON STANNO A GUARDARE



CNSA/XINHUA VIA AP

▲ La bandiera nazionale cinese sul lato nascosto della Luna segna il primato di Pechino nella discesa con la sonda Chang'e-6, poi ripartita alla volta della Terra

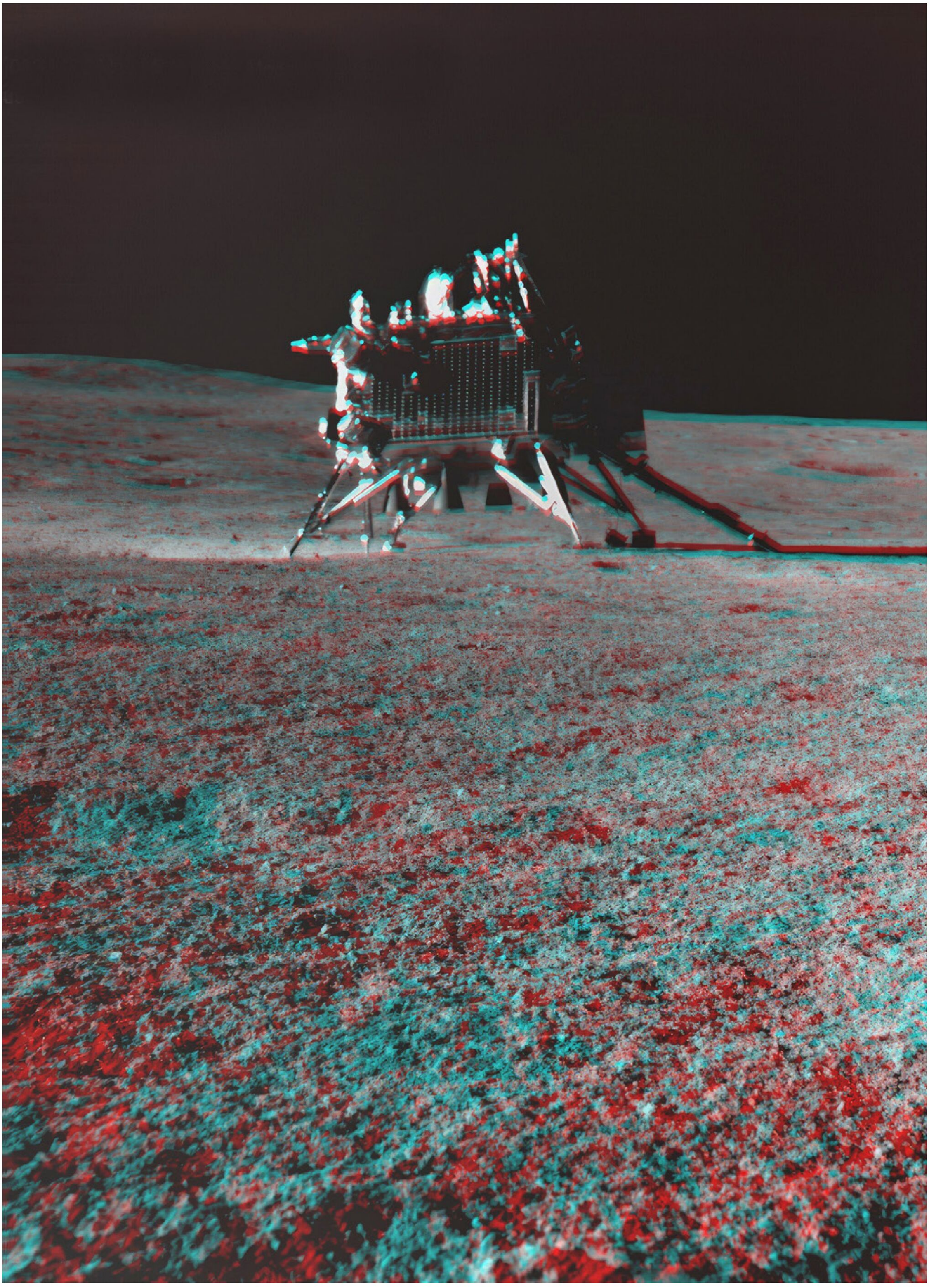
È il 14 dicembre 1972: Gene Cernan ed Harrison "Jack" Schmitt lasciano la superficie della valle di Taurus-Littrow per tornare sulla Terra al termine della missione Apollo 17. Da allora nessun essere umano ha più calpestato il suolo lunare. A più di mezzo secolo di distanza, sembra avvicinarsi il momento in cui un uomo (o una donna) tornerà a camminare sul nostro satellite. Chi sarà? Ancora un americano o magari un cinese?

Negli anni Sessanta la corsa per la conquista dello spazio era fra Stati Uniti e Unione Sovietica. Oggi ci sono nuovi soggetti con capacità tecnica, risorse economiche e volontà politica per competere. La Cina, in primis, che ha in orbita terrestre una sua stazione spaziale permanentemente abitata: la Tiangong ("palazzo nel cielo"). Una versione in scala ridotta della stazione spaziale internazionale (un terzo, circa, il volume abitabile) che svolge compiti di ricerca analoghi. L'Agenzia spaziale cinese ha in corso un programma di esplorazione della Luna affidato inizialmente a sonde automatiche, ma con l'obiettivo di portare degli astronauti sulla superficie del corpo celeste nel 2030.

Poi c'è l'India. Il grande Paese asiatico da un lato non nasconde l'ambizione di crescere e di diventare il rivale della Cina sul piano industriale, economico e politico, dall'altro ha già dimostrato di essere capace di posare con successo ▶

CSM

◀ La capsula Mengzhou (a sinistra) e il lander Lanyue della futura missione cinese che punta allo sbarco con equipaggio sulla Luna



ISRO

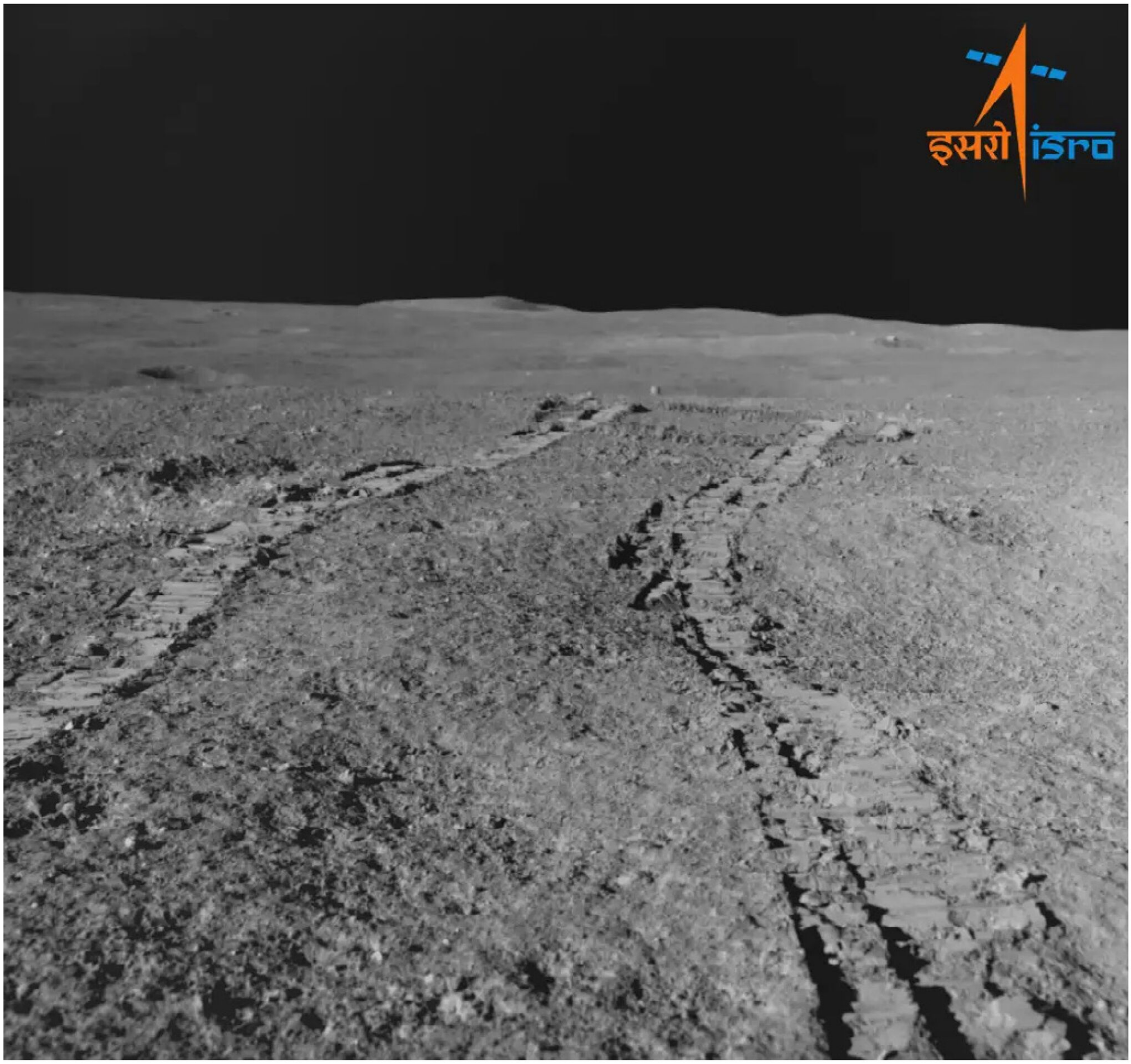
## CHANG'E 6
### UN PRIMATO CINESE

Se mai ci fosse stato bisogno di una prova delle capacità tecniche della Cnsa, l'agenzia spaziale di Pechino, questa è arrivata con il successo della missione Chang'e 6, che ha prelevato e portato sulla Terra campioni di suolo raccolti sul lato nascosto della Luna. Lanciata il 3 marzo 2024, la navicella è entrata in orbita lunare. Quindi si è separato il lander, che si è posato nel cratere Apollo, nell'emisfero meridionale della faccia della Luna perennemente celata alla Terra. Dopo aver raccolto i campioni e averli collocati in un contenitore, il modulo di ascesa del lander ha raggiunto il modulo rimasto in orbita. È iniziato, quindi, il viaggio di ritorno verso la Terra. La capsula di rientro con il suo prezioso carico (quasi 2 kg di materiale) è scesa appesa al paracadute il 25 giugno 2024, nella regione cinese al confine della Mongolia.

Chang'e 6 è scesa sulla Luna il 1° giugno 2024. La capsula con i campioni di suolo è rientrata con successo 24 giorni più tardi

◀ Il lander Vikram della missione Chandrayaan-3 fotografato dal rover Pragyan

una sonda sulla superficie lunare. E presto avrà a disposizione una navicella con la quale portare nello spazio i propri astronauti.
Quanto alla Russia, il suo ruolo è legato alla politica internazionale. Partner della Nasa, dell'Esa e delle agenzie spaziali di Canada e Giappone nella International Space Station, l'ente spaziale di Mosca – Roscosmos – era stato invitato a partecipare al programma Artemis, ma aveva scelto di restarne fuori. E dopo l'invasione dell'Ucraina le collaborazioni con le agenzie spaziali occidentali si sono interrotte, con la sola eccezione della stazione spaziale internazionale. Mancando delle risorse per intraprendere un proprio programma di esplorazione lunare, la Russia si è così alleata con la Cina firmando un *memorandum* d'intesa che ha come obiettivo la costruzione di una base lunare abitata.
La nuova corsa alla Luna ha motivazioni scientifiche, economiche in vista del possibile futuro sfruttamento delle risorse del satellite, ma anche, come già negli anni Sessanta, politiche. Quando l'allora presidente Trump pose il ritorno degli astronauti americani come l'obiettivo prioritario di Artemis, imponendo alla Nasa una tabella di marcia irrealistica (lo sbarco sarebbe dovuto avvenire già nel 2024), lo fece per ragioni di prestigio. E le stesse ragioni non sono certamente estranee agli altri Paesi impegnati nella competizione.
Apparentemente la Nasa, con il programma Artemis al quale partecipa l'Europa, è in vantaggio. Artemis I ha già compiuto una complessa missione senza equipaggio in orbita attorno alla Luna. E fra un anno partirà Artemis II per portare quattro astronauti a compiere un "giro di boa" attorno al corpo celeste in un volo di collaudo con equipaggio. Il gigantesco lanciatore SLS è pronto, la navicella Orion pure (ultimate le verifiche sullo scudo termico che hanno fatto ▶



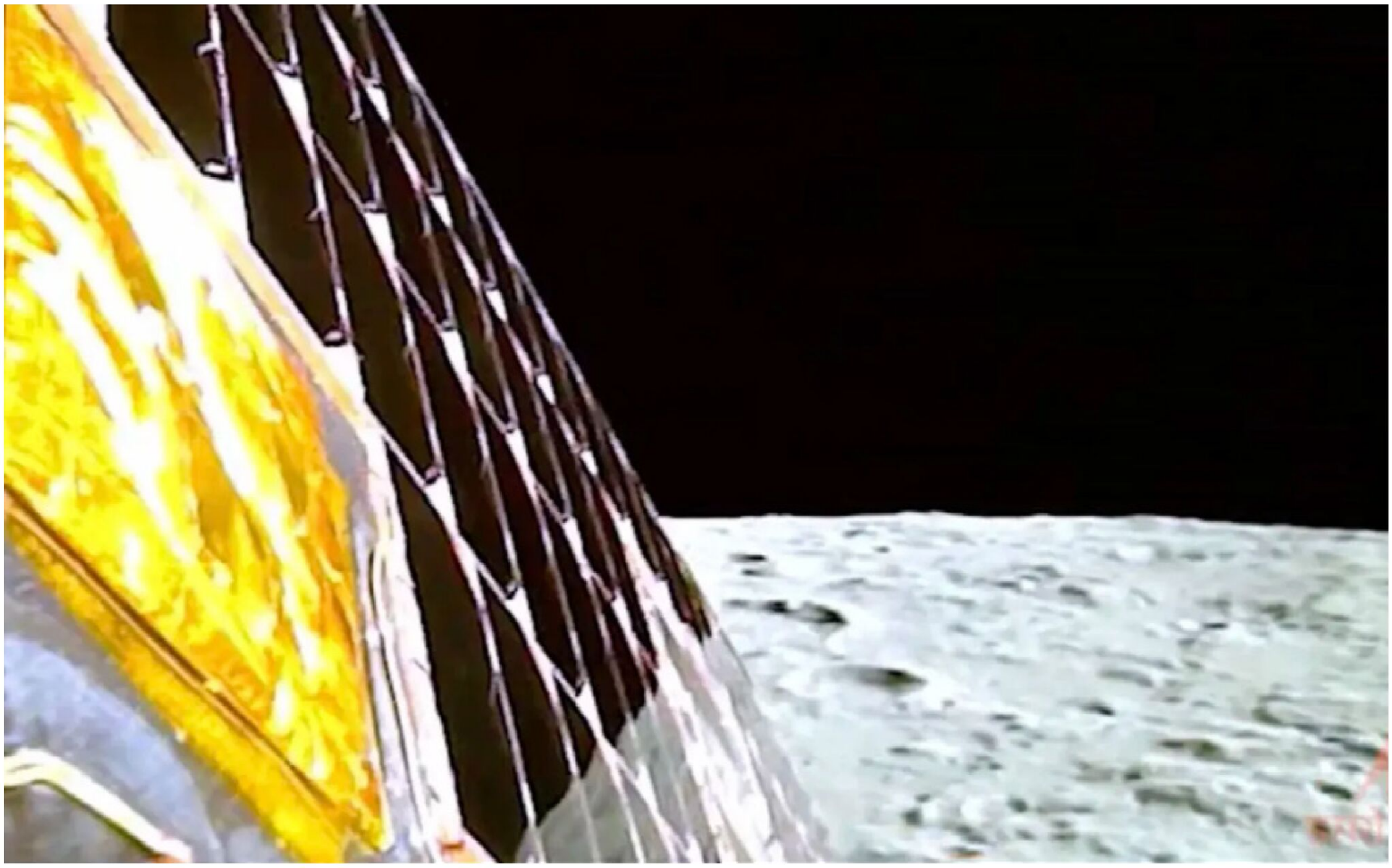
ISRO

slittare il programma di dieci mesi), così come il modulo di servizio europeo. Nel frattempo, a Torino, si stanno costruendo i moduli della stazione Gateway, che, collocata in una particolare orbita lunare (polare e fortemente ellittica), servirà sia come "campo base" per l'esplorazione umana del nostro satellite, sia come laboratorio abitato per brevi periodi di tempo.

In realtà Artemis ha davanti a sé un cammino complesso e prevedibilmente ancora lungo. Le missioni Apollo, concepite all'inizio degli anni Sessanta, erano nate all'insegna della massima semplicità con lo scopo di portare un americano sulla Luna entro il 1970. Artemis, che non può contare su uno sforzo economico paragonabile ad Apollo, si propone obiettivi molto più ambiziosi ed è basata su un'architettura assai più complessa, che prevede l'impiego di lander riutilizzabili molto più grandi e capaci del Lunar Module dell'Apollo e il lancio di veicoli cisterna per rifornirli di propellente. Proprio il lander sembra la grande incognita. Non sappiamo quando il gigantesco veicolo Starship HLS della SpaceX, cui la Nasa si è affidata, sarà pronto. E il suo impiego appare estremamente complesso: lanciato in orbita terrestre, prima di intraprendere il viaggio verso la Luna e dell'appuntamento con gli astronauti, dovrà essere rifornito da un numero imprecisato di altre navicelle Starship (si parla di un minimo di quattro e un massimo di 14). In alternativa ci sarebbe l'altro lander, proposto da Blue Origin, il cui sviluppo richiederà però molto tempo.

Dal canto suo, la Cina sembra aver scelto una strategia meno ambiziosa, ma più semplice. L'obiettivo primario è diventare il secondo Pa-

▲ Le tracce del rover Vikram Pragyan sul suolo lunare



HANDOUT/ISRO

▲ Panorama lunare ripreso dalla sonda indiana Chandrayaan-3, sbarcata con successo il 23 agosto 2023

ese dopo gli Stati Uniti a portare un astronauta sulla superficie della Luna. C'è anche una data: il 2030. Che cosa sappiamo del progetto cinese? Non molto, in realtà, ma abbastanza per avere un quadro generale della missione. La navicella spaziale che ospiterà i "taikonauti" nel loro viaggio è stata chiamata Mengzhou, cioè "vascello di sogno", mentre il lander Lanyue. Che significa "abbracciando la Luna".

Il lanciatore sarà il nuovo Lunga Marcia 10, attualmente in fase di sviluppo. Si tratta di un razzo molto potente, capace di portare 70 tonnellate di carico utile in orbita terrestre e, cosa che qui ci interessa maggiormente, di immettere 27 tonnellate di carico utile nella traiettoria verso la Luna. Prestazioni notevoli, ma ben inferiori a quelle del Saturn V delle missioni Apollo, che aveva il doppio della capacità (141 e quasi 53 tonnellate rispettivamente). Lo sbarco cinese sulla Luna richiederà, quindi, due lanci: uno con il lander Lanyue, l'altro con la navicella Mengzhou e il suo equipaggio. In due veicoli si incontreranno poi in orbita lunare.

Notevolmente più piccolo dei grandi lander riutilizzabili previsti dal programma Artemis, Lanyue dovrebbe essere simile al Lunar Module delle missioni Apollo. Al pari di questo ospiterà un equipaggio di due persone e porterà anche un rover, una piccola automobile della massa di 200 chilogrammi.

Sulla base di questi elementi, il piano cinese appare una replica delle missioni Apollo. Si tratta di un primo passo in un programma più ampio e complesso, ma grazie alla sua semplicità la Cina potrebbe riportare l'uomo a camminare sulla Luna prima della Nasa. E sarebbe un enorme successo d'immagine.

Come abbiamo anticipato, c'è un altro Paese asiatico che punta all'esplorazione della Luna, anche se al momento solo con delle sonde automatiche: l'India. Lo scorso anno, con la missione Chandraayan-3, l'agenzia spaziale indiana ha fatto posare la navicella Vikram in prossimità del polo sud della Luna e dal veicolo è sceso il piccolo rover Pragyan. Un successo sulla base del quale l'Indian Space Research Organization (Isro) sta pianificando una nuova missione con l'obiettivo di prelevare e portare sulla Terra campioni di suolo lunare. Parallelamente, l'Isroè impegnata in un programma di volo spaziale umano. A fine anno è previsto il lancio della capsula spaziale Gaganyaan ("veicolo celeste") per il primo volo di collaudo senza equipaggio. La navicella può ospitare tre astronauti, ha la capacità di manovrare in orbita per effettuare *rendez-vous* e *docking* con altri veicoli e al termine della missione scenderà in mare appesa a due paracadute. Il primo volo con equipaggio potrebbe avvenire già il prossimo anno. Il passo successivo sarà la messa in orbita bassa di una piccola stazione spaziale della massa di 20 tonnellate. Al momento di uno sbarco sulla Luna ancora non si parla, ma c'è da scommettere che sarà solo questione di tempo. ■

# ARCHEOLOGIA LUNARE

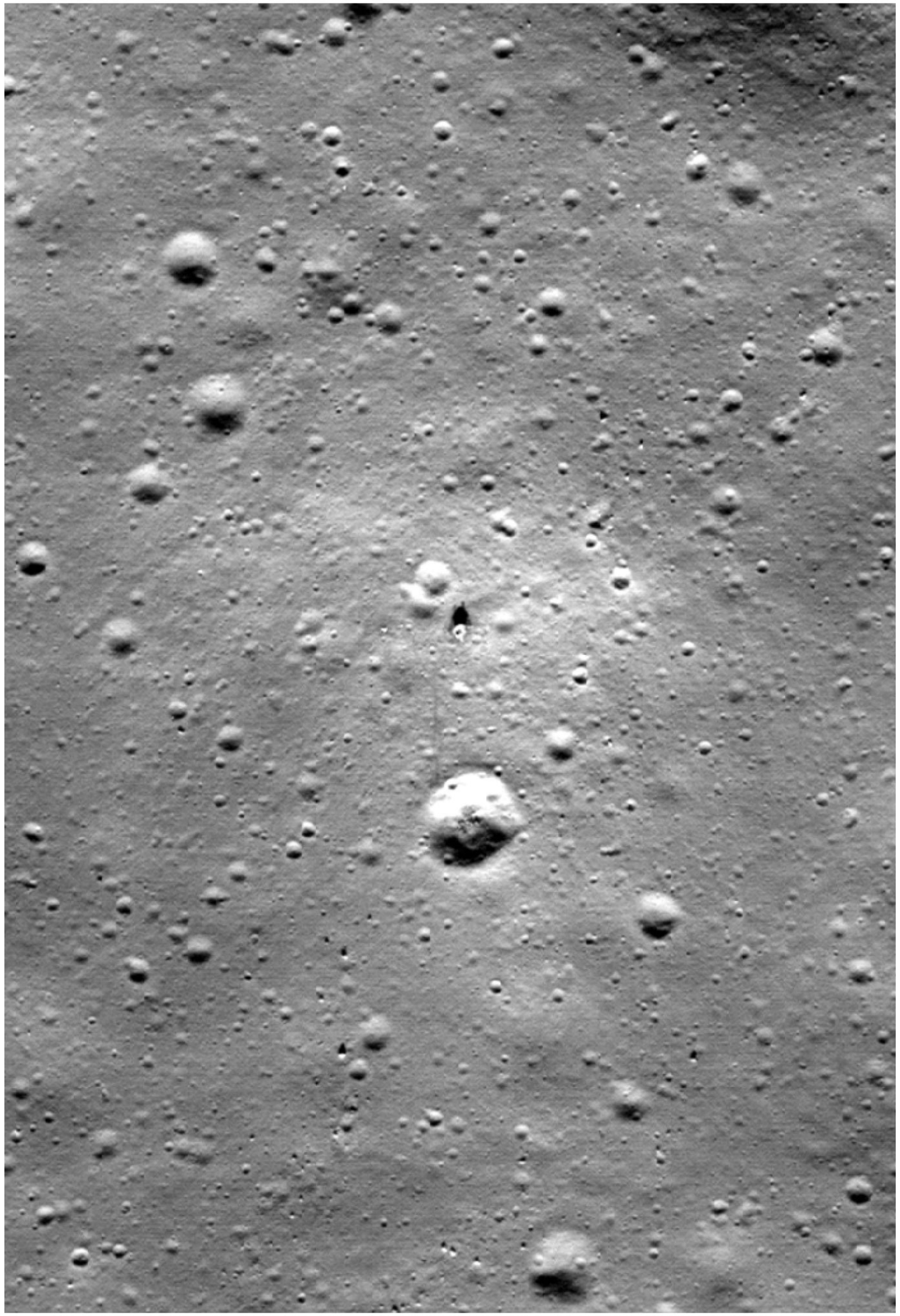
## LA LEGGE AMERICANA TUTELA I SITI DOVE SONO SCESE LE MISSIONI APOLLO, MA L'UNESCO NON HA IL POTERE DI PROCLAMARLI "PATRIMONIO DELL'UMANITÀ". RAMPE, SISMOGRAFI, ROMANTICI SOUVENIR E 60 SACCHETTI DI ESCREMENTI

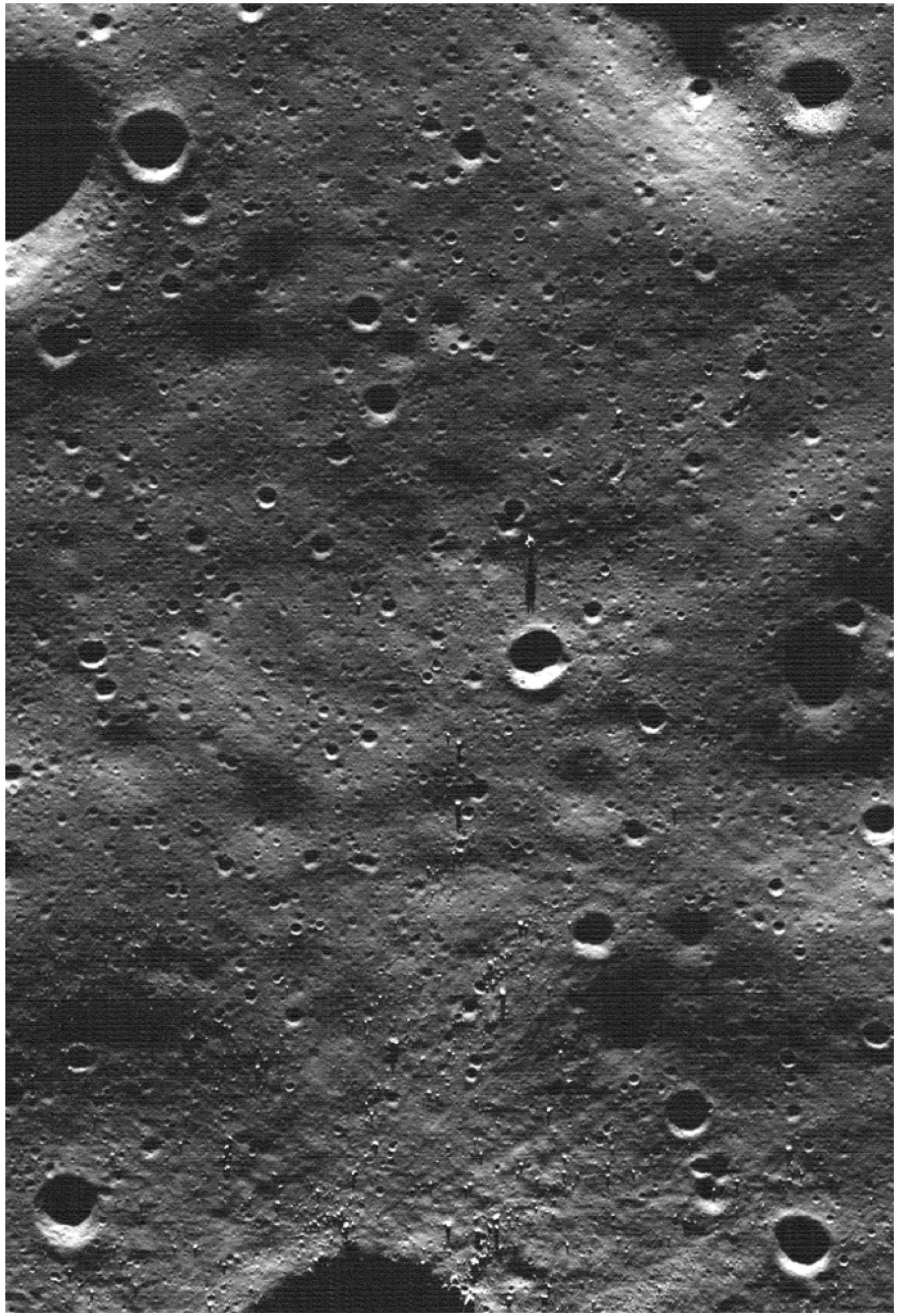
Dal 1° gennaio 2021 tutti i siti Apollo sono tutelati da una legge degli Stati Uniti che ha integrato lo “One Small Step to Protect Human Heritage in Space Act”, approvato nel 2019 solo per il Mare della Tranquillità, dove scesero Armstrong e Aldrin il 20 luglio 1969 con l’Apollo 11. Questa legge impone che tutte le missioni spaziali americane finanziate dal governo rispettino le linee guida per la protezione dei siti delle missioni Apollo sulla Luna. Tuttavia, essendo una legge nazionale, si applica solo a missioni statunitensi e non ha valore giuridico internazionale.

D’altra parte, l’Unesco, braccio culturale delle Nazioni Unite, non considera i siti delle missioni Apollo patrimonio dell’umanità né potrebbe farlo perché la sua giurisdizione si applica solo ai luoghi sulla Terra. Inoltre il Trattato sullo spazio extra-atmosferico del 1967, tuttora in vigore con pochi aggiornamenti, stabilisce che la Luna e gli altri corpi celesti non possono essere rivendicati da alcuna nazione, il che complica ulteriormente la protezione internazionale di questi siti.

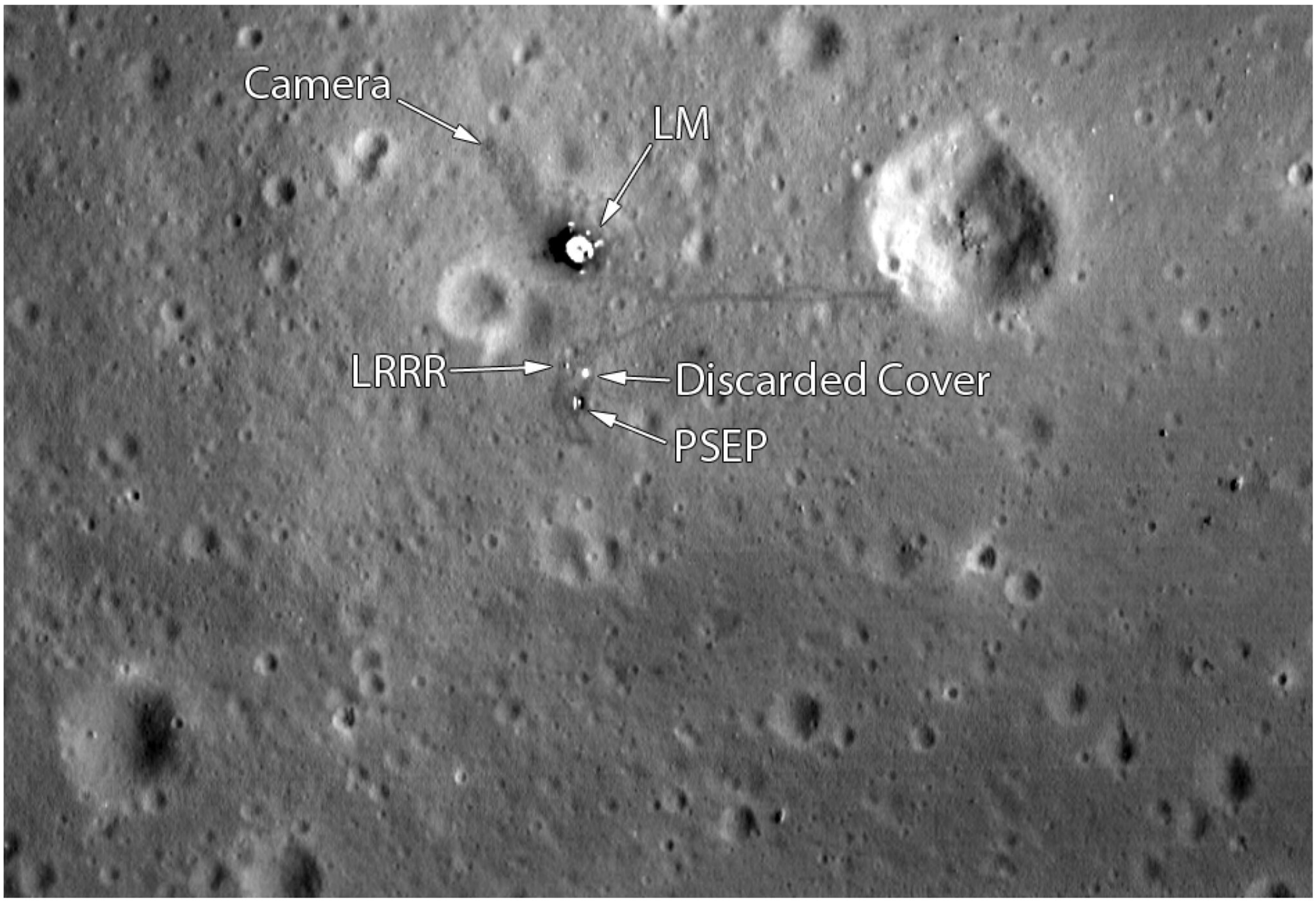
Ciò premesso, il satellite della Nasa Lunar Reconnaissance Orbiter – lanciato nel 2009 e tuttora operativo, con vita prevista fino al 2026 – ha ripreso le zone degli atterraggi sotto vari angoli di illuminazione con la formidabile risoluzione di 5 centimetri per pixel. In tutti i siti, gli astronauti delle missioni Apollo hanno lasciato tracce di grande interesse per i futuri archeologi spaziali. I resti più vistosi sono i tralicci che funzionarono da rampe di lancio per la ripartenza del modulo lunare (Lem) verso il modulo di comando che ▶

◄▲ Charles Duke, pilota del modulo lunare di Apollo 16, mentre raccoglie campioni di suolo. Lo stesso Duke lascerà nel sito di allunaggio, protetta da una busta di plastica, una foto che lo vede ritratto con la moglie e i due figli (qui sopra)





NASA/GSFC/ARIZONA STATE UNIVERSITY




li attendeva in orbita. Numerosi sono i "pacchi" di esperimenti sparsi intorno, a cominciare dai sismografi e dai retroriflettori per raggi laser inviati. Ci sono poi reperti simbolici: le bandiere americane e piccoli souvenir lasciati dagli astronauti (avevano il permesso di portare con sé un piccolo bagaglio a mano).

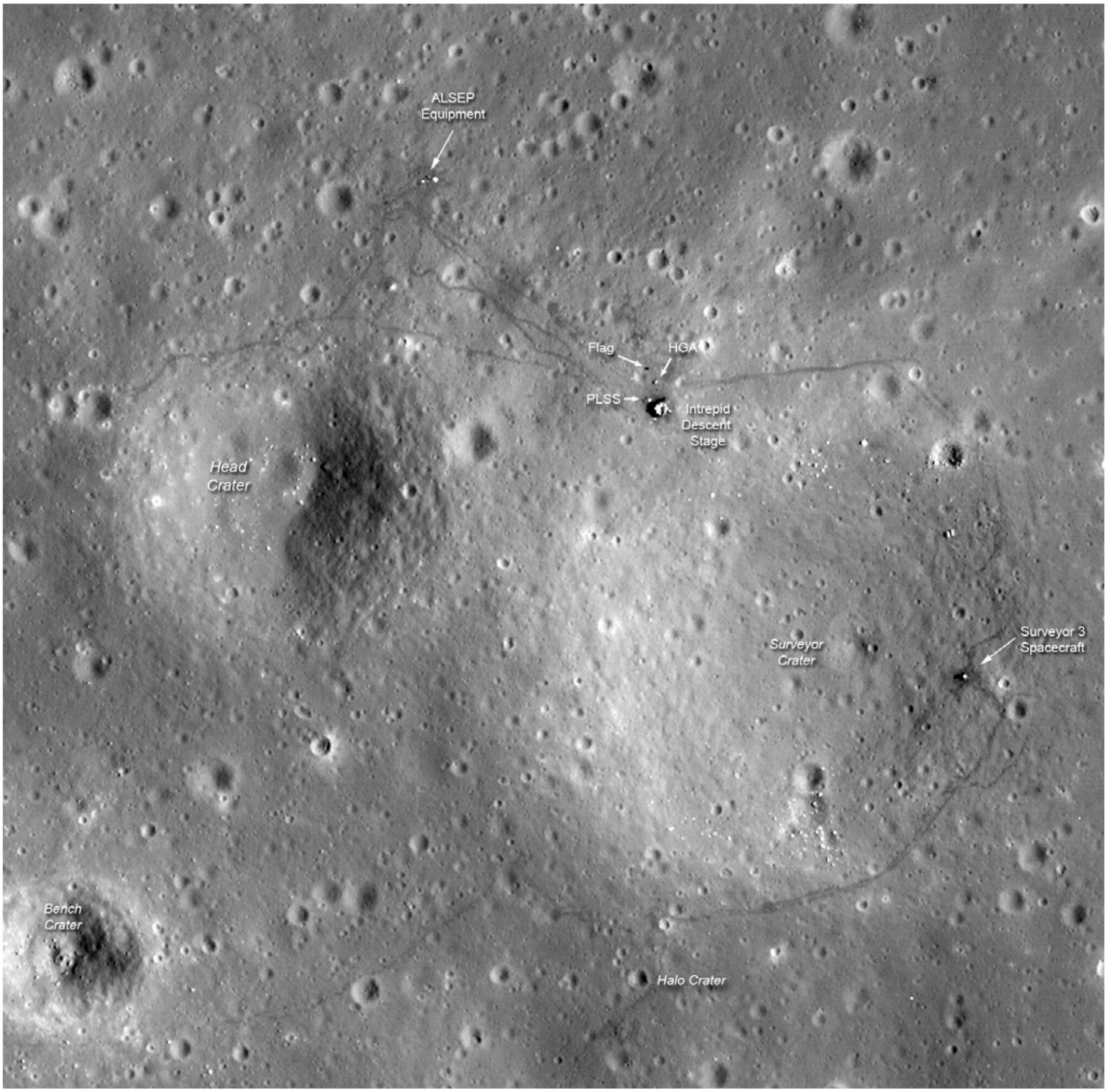
Nell'Oceano delle Tempeste, dove scese l'Apollo 12, oltre alla rampa e agli strumenti scientifici, rimane il relitto del Surveyor, la sonda inviata in avanscoperta nell'aprile 1967. Impronte degli scarponi degli astronauti segnano tutti i siti con un fitto scalpiccio. Il più impressionante è quello dell'ultima missione, l'Apollo 17, dove le tracce delle escursioni di Schmitt e Cernan, a piedi e sul fuoristrada, sono evidentissime.

La "magnifica desolazione" descritta da Buzz Aldrin (Apollo 11) scendendo mezz'ora dopo Armstrong nel Mare della Tranquillità è stato il primo sito protetto, prevedendo che senza dubbio sarebbe diventato il panorama più richiesto dalle comitive in gita. Sul posto sono rimaste le "zampe" e la sezione inferiore del Lem, un pacco di esperimenti, il riflettore di raggi laser, il sismometro, la telecamera (negli anni Sessanta avevano dimensioni imponenti). Non si vede l'ombra della bandiera americana. Probabilmente cadde per il violento getto espulso dal razzo del Lem mentre si sollevava. Da qualche parte ci sarà una scatoletta: contiene medaglie ricordo degli astronauti americani Grissom, White e Chaffeee e dei russi Gagarin e Komarov, tutti "morti sul lavoro". In un piccolo cratere Neil Armstrong depose uno scatolino con il braccialetto di Karen, la figlioletta che aveva perso all'età di due anni per un tumore al tronco encefalico. Un rametto d'ulivo in oro è vicino al disco che reca incisi i messaggi di pace di 73 capi di Stato. Nitido è lo scalpiccio degli astronauti: in assenza di atmosfera, la traccia dei primi passi umani sulla Luna durerà migliaia di anni.

Ma non per sempre. La pioggia di micrometeoriti, finissima ma costante, sottopone crateri, montagne mari e altopiani lunari a una lenta ma ininterrotta erosione. Non esiste praticamente pietra senza le tracce dell'impatto di qualche micrometeorite. Il motivo è semplice: tutte le meteoriti, da quelle leggerissime (millesimi di grammo) a quelle con dimensioni asteroidali, arrivano sulla superficie lunare con velocità cosmiche (decine di chilometri al secondo), mentre sulla Terra una meteorite pesante una tonnellata che viaggi a 20 km al secondo quando esce dalla stratosfera (15 km di quota) sarà già rallentata a 100 metri al secondo, e solo meteoriti superiori alle mille tonnellate raggiungono il suolo con velocità cosmiche. Ogni metro quadrato della Luna almeno una volta al giorno viene colpito ▶

▲ I segni degli storici primi passi di Armstrong e Aldrin sono visibili come percorsi scuri intorno al Modulo lunare (Lem), al Lunar Ranging RetroReflector (Lrrr) e al Passive Seismic Experiment Package (Psep), nonché da e verso il cratere Little West

◀ A sinistra; Il sito di allunaggio di Apollo 11, dove per la prima volta un essere umano ha messo piede sulla Luna, in due diverse condizioni di luce. Si distingue chiaramente la rampa di lancio da cui Neil Armstrong e Buzz Aldrin sono ripartiti e l'ombra che proietta sul suolo



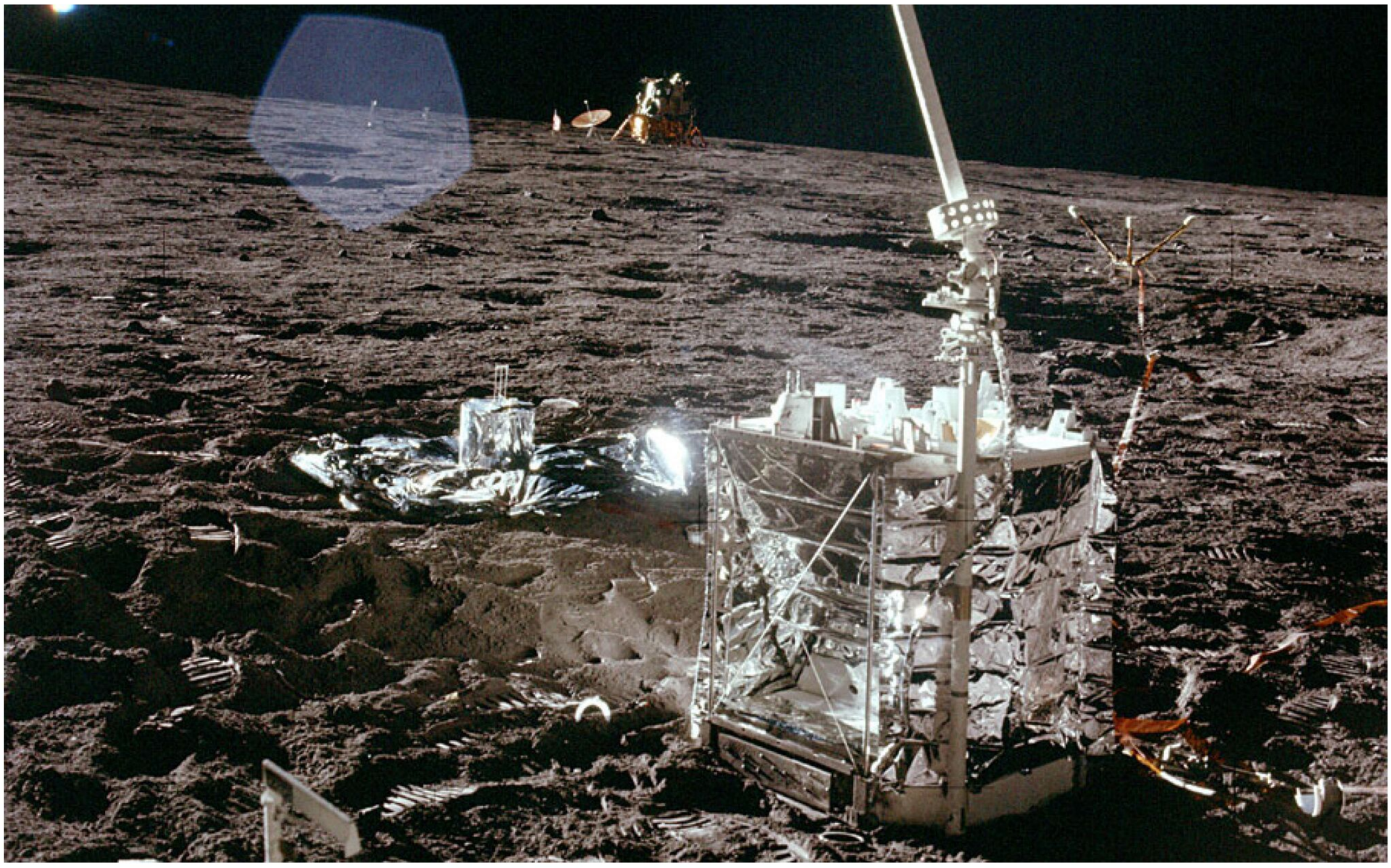

NASA/GSFC/ARIZONA STATE UNIVERSITY

▲ Il modulo lunare di Apollo 12 è sceso nell'Oceanus Procellarum. Nell'immagine sono indicati i nomi informali dei crateri visitati dagli astronauti, le posizioni degli strumenti Alsep (Apollo Lunar Surface Experiments Package), dello stadio di discesa Intrepid e della navicella Surveyor 3, inviata in avanscoperta nell'aprile 1967

da una particella dal diametro di un millesimo di millimetro, mentre per avere un impatto al giorno con una meteorite di massa superiore a 10 grammi si deve considerare un'area di 70.000 km quadrati (circa un quarto dell'Italia).

Una lieve ma incessante azione erosiva svolge anche il "vento solare". Questo flusso di particelle nucleari, in prevalenza protoni, arriva sulla Luna a circa 500 km al secondo, mentre sulla Terra è fermato dal campo magnetico e dallo schermo dell'atmosfera. I protoni penetrano nella superficie lunare soltanto per una frazione di millimetro ma finiscono con il modificare la struttura cristallina delle rocce: è un'azione disgregatrice paragonabile a quella svolta sulla Terra, con efficacia ben maggiore, dagli agenti atmosferici. Le particelle del vento solare finiscono con il modificare la composizione chimica del suolo lunare (regolite), producendo un arricchimento di carbonio rispetto alle rocce che si trovano in profondità. Gli astronauti di Apollo 15, trivellando la coltre di regolite fino alla profondità di due metri e mezzo, hanno identificato una quarantina di strati diversi, ognuno attribuibile a depositi di materiale causati da altrettanti impatti. Si stima che per rovesciare il primo centimetro di regolite occorrano 10 milioni di anni. Questo è il tempo che ci vorrà per cancellare le impronte degli astronauti.

Sulla Luna sono sparse decine di resti di missioni esplorative americane, russe, cinesi, indiane (riuscite), israeliane e giapponesi (fallite). Elen-



carli sarebbe lungo e anche noioso. Limitandoci ai siti visitati da astronauti, ecco i dati riassuntivi:

- **Apollo 11 (20 luglio 1969)**
  **Mare della Tranquillità**
  Coordinate: 0.67408° N, 23.47297° E
  Astronauti: Neil Armstrong, Buzz Aldrin. In orbita Michael Collins
- **Apollo 12 (19 novembre 1969)**
  **Oceanus Procellarum**
  Coordinate: 3.01239° S, 23.42157° W
  Astronauti: Charles Conrad, Alan Bean
- **Apollo 14 (5 febbraio 1971)**
  **Fra Mauro**
  Coordinate: 3.64530° S, 17.47136° W
  Astronauti: Alan Shepard, Edgar Mitchell
- **Apollo 15 (30 luglio 1971)**
  **Hadley-Apennini (Rima Hadley)**
  Coordinate: 26.13222° N, 3.63386° E
  Astronauti: David Scott, James Irwin
- **Apollo 16 (21 aprile 1972)**
  **Descartes Highlands**
  Coordinate: 8.97301° S, 15.50114° E
  Astronauti: John Young, Charles Duke
- **Apollo 17 (11 dicembre 1972)**
  **Taurus-Littrow Valley**
  Coordinate: 20.19080° N, 30.77168° E
  Astronauti: Eugene Cernan, Harrison Schmitt

La regione Taurus-Littrow sarà una meta archeologica ambita ma scomoda. Ambita perché lì è impressa l'ultima orma (finora) dell'uomo sulla Luna, lasciata da Eugene Cernan alle 5,40 U.T. del 14 dicembre 1972. Scomoda perché, dei siti visitati dalle missioni Apollo, Taunus-Littrow è il più lontano dall'equatore e quindi richiede una digressione apposita. Una pietra lunare raccolta dall'Apollo 17 nell'adiacente Mare Serenitatis ha permesso di retrodatare di 300 milioni di anni questo bacino. La ricerca, condotta dalla Open University e pubblicata nel 2021 su una rivista del gruppo di "Nature", ha fatto risalire il Mare Serenitatis a un impatto di 4 miliardi e 200 milioni di anni fa. Il turista calpesterà il pezzo di Luna più antico, formatosi quando l'età dell'universo era due terzi di quella attuale.

Tutte le missioni Apollo hanno abbandonato strumenti scientifici, borse, tappi per le orecchie, martelli, pinze, pennelli, filtri per l'ossigeno e per l'acqua. Nel cratere Fra Mauro, sito dove scese l'Apollo 14, rimangono due palline da golf e un giavellotto. Nel sito dell'Apollo 15, lungo il solco di Hadley, gli astronauti David Scott e James Irwin posarono una piuma di falco, il manuale di volo dell'Apollo 11 su microfilm, un documento degli ex-allievi dell'Università del Michigan, una Bibbia e 100 banconote da 2 dollari, spiccioli che ora avranno raggiunto un valore numismatico inestimabile. Gli astronauti hanno lasciato sulla Luna anche 60 sacchetti di escrementi. Forse sono visibili nelle straordinarie immagini di Lunar Reconnaissance Orbiter, e certamente ora sono protetti dalla legge americana. Del resto Piero Manzoni nel 1961 confezionò e firmò 90 barattoli con il titolo *Merda di artista*, da allora ammirati nei musei di mezzo mondo. ■

▲ In primo piano, la stazione centrale dell'Apollo Lunar Surface Experiments Package (ALSEP), l'insieme di strumenti per misurare l'ambiente lunare, tra cui un sismometro, uno spettrometro per il vento solare, un misuratore di ioni, un magnetometro, tutti alimentati da un generatore a radioisotopi. Sullo sfondo, il modulo lunare Intrepid e l'antenna ad alto guadagno in banda S per le telecomunicazioni con la Terra

GEOLOGIA

Come è fatto il nostro satellite

# MONTAGNE LUNARI IMPRONTE COSMICHE

LA LUNA NON HA ZOLLE IN MOVIMENTO. LE SUE CIME SONO IL BORDO DEI CRATERI GENERATI DA ANTICHI IMPATTI. LA GRAVITÀ MINORE HA PERMESSO CHE CRESCESSERO PROPORZIONALMENTE DI PIÙ RISPETTO A QUELLE TERRESTRI

◀ Le montagne più grandi sulla Luna rivaleggiano con quelle della Terra. Il Montes Zeeman, nella foto, si eleva per 7570 metri dalla base e 8800 rispetto al punto più basso dell'omonimo cratere. Rispetto al raggio medio lunare, usato come riferimento in assenza di oceani, la quota si riduce a 2400 metri, poiché il cratere Zeeman si trova a sua volta sul fondo del bacino Polo Sud-Aitken, 6000 metri al di sotto del raggio medio lunare

Le "Vette dell'eterna luce" sono le montagne della Luna oggi più interessanti per la scienza. Non appartengono alla categoria delle catene montuose di tipo terrestre, e nemmeno sono formazioni geologiche lunari come gli Appennini, le Alpi, gli Altai. Sono invece le cime più alte di crateri da impatto che, per la loro posizione vicina al polo sud, ricevono sempre la luce del Sole. Per lo stesso motivo, il fondo di questi crateri è perennemente al buio. Le regioni sempre illuminate sarebbero l'ideale per piazzare pannelli fotovoltaici e ricavare energia elettrica senza discontinuità. Nella platea dei crateri si suppone che si sia accumulato e conservato ghiaccio di acqua portato dalle comete, e quindi i futuri coloni potrebbero trovare lì le loro riserve idriche. Entrambi i luoghi sono scomodi: tra vette e fondo dei crateri c'è la massima escursione termica, da più di 130°C sulle cime a -260°C, temperatura vicina allo zero assoluto, nell'eterno buio. Ma di comodo, sulla Luna, non c'è niente.

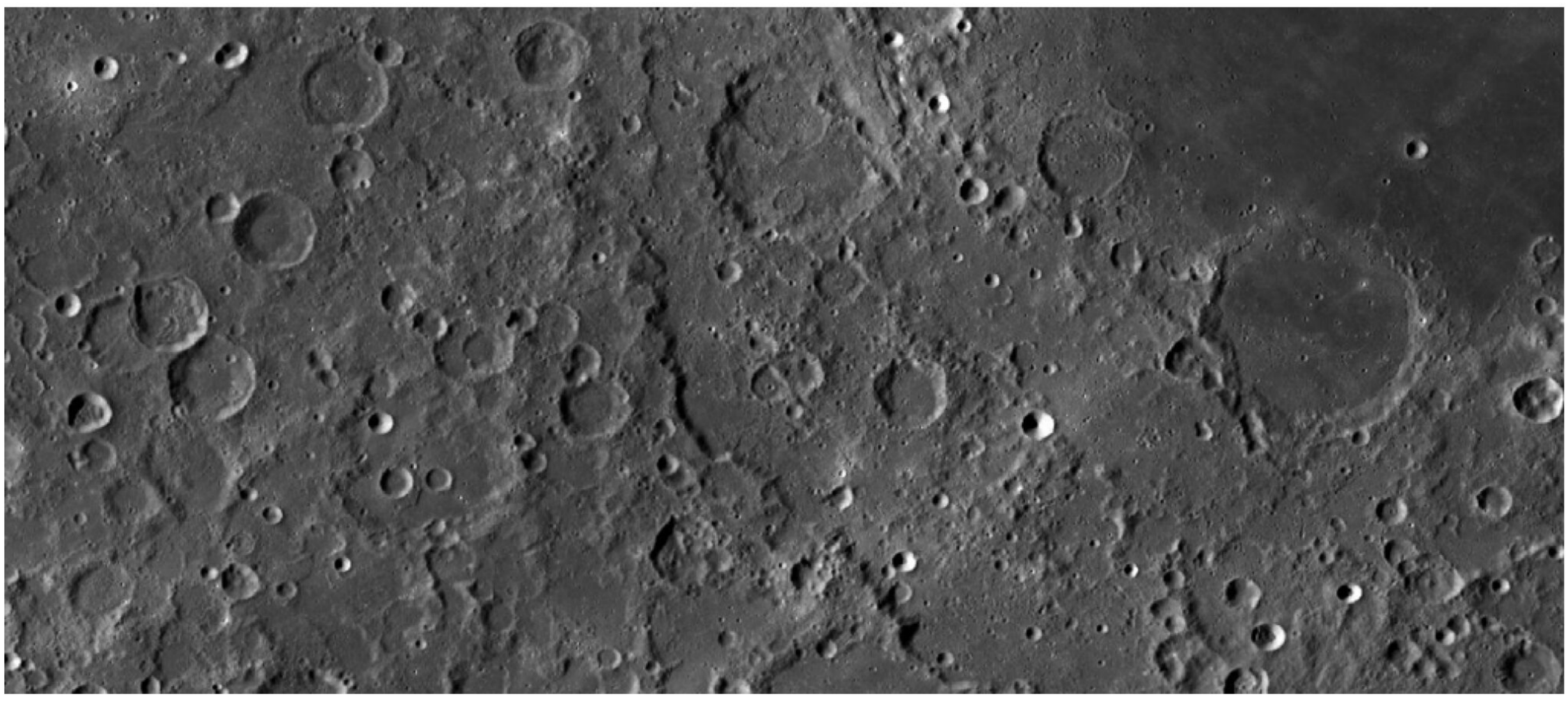
La dinamica che ha sollevato le catene montuose della Luna è profondamente diversa da quella terrestre. Sul nostro pianeta le catene montuose sono generalmente il prodotto dello scontro tra le placche che compongono la litosfera, comunemente chiamata crosta, uno strato spesso da 20 a 60 chilometri che ricopre il "mantello", dove avvengono lenti moti convettivi di materiale semifluido. Nello scontro, una placca può immergersi sotto un'altra, provocandone il sollevamento. È il caso, per esempio, della più poderosa catena terrestre, quella dell'Himalaya, generata dalla collisione dell'India con la placca asiatica, sotto la quale la placca indiana è penetrata profondamente. Le Alpi derivano dalla collisione tra la placca africana e quella euroasiatica, e le Ande dal procedere dell'America del Sud verso Ovest, dove incontra la resistenza di una placca del Pacifico.

Niente di tutto ciò è possibile sulla Luna, che è geologicamente morta quattro miliardi di anni fa: la sua crosta non è suddivisa in zolle, né, se lo fosse, queste potrebbero muoversi, sia pure lentamente, alla velocità di qualche centimetro all'anno, come fanno quelle terrestri, perché lo strato lunare sottostante non possiede moti di convezione come il mantello terrestre.

L'origine delle montagne della Luna va cercata ancora una volta nel bombardamento di planetesimi che ha forgiato il satellite nella sua fase giovanile. E infatti spesso le catene montuose lunari hanno una forma ad arco e sorgono intorno ai grandi bacini. L'esempio più evidente ce lo offrono gli Appennini. Ma su scala minore un caso ancora più chiaro è quello dei Montes Jura. Anche i Pirenei lunari circondano un bacino (quello del Mare Nectaris), e così le Alpi (Mare Imbrium) e i Montes Haemus (Mare Serenitatis). Quanto ai Montes Rook e Cordillera sono ciò che rimane di due degli anelli montuosi concentrici che sorgono intorno al Mare Orientale. Naturalmente la minor gravità lunare ha favorito il sorgere di montagne proporzionalmente più alte di quelle terrestri. In rapporto al raggio dei due corpi celesti, le maggiori montagne lunari sono tre volte più imponenti delle vette dell'Himalaya. I Monti Leibniz che dentellano il bordo lunare, raggiungono gli 11.350 metri.

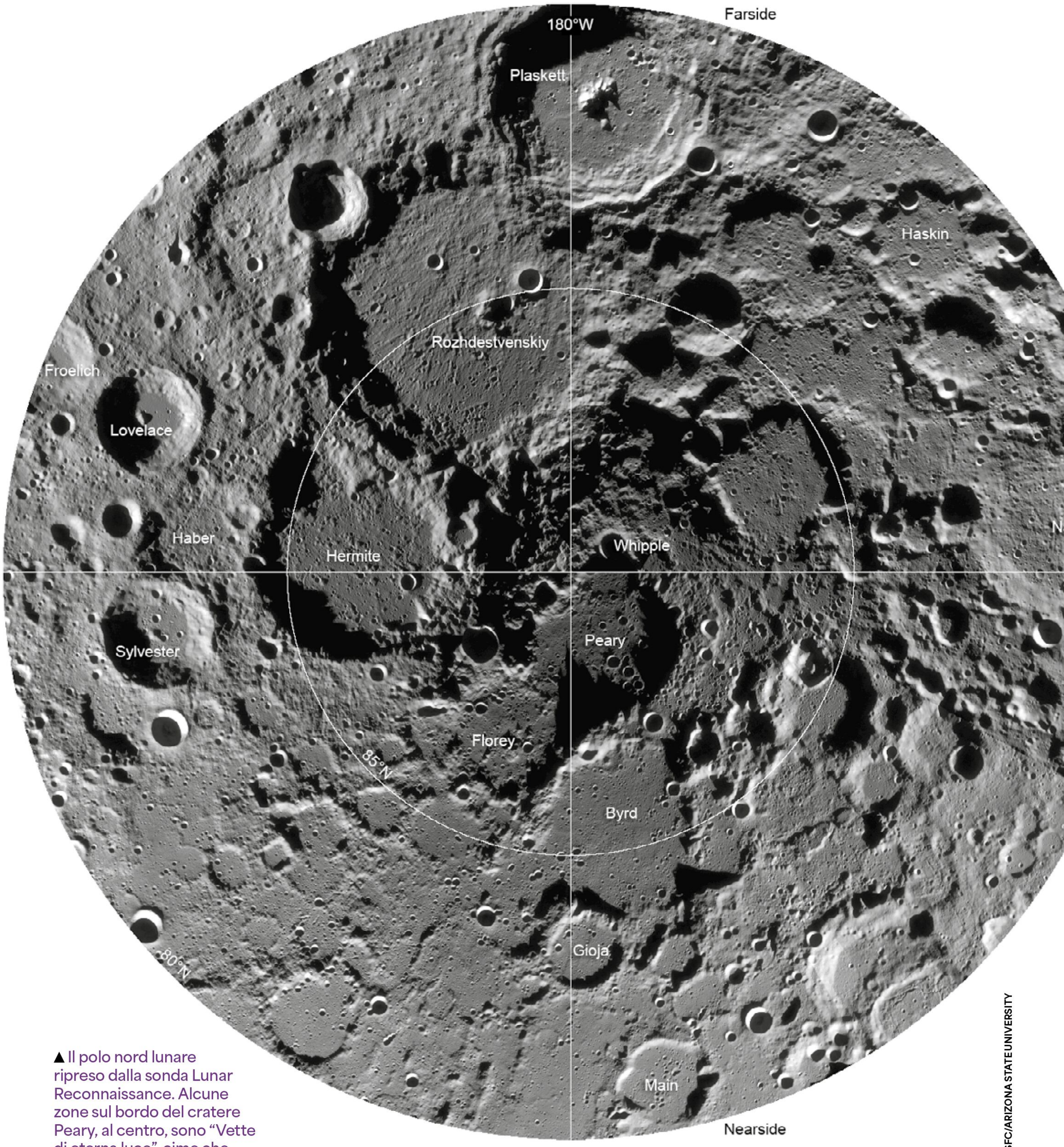
In qualche caso, come per i Montes Altai, più che davanti a una catena montuosa, ci troviamo di fronte a uno scoscendimento quasi verticale che separa due altopiani posti a differente altezza rispetto al livello medio. In generale però le catene montuose della Luna possono essere spiegate come un aspetto dei grandi bacini: la stessa scarpata dei Montes Altai viene interpretata come un evento secondario all'impatto che diede origine al Mare Nectaris. ■

▼ I Montes Altai, la linea scura che attraversa il centro dell'immagine, segnano la separazione tra due altopiani a quote differenti e sono probabilmente una conseguenza dell'impatto che ha dato origine al Mare Nectaris (la piana in alto a destra nella foto)



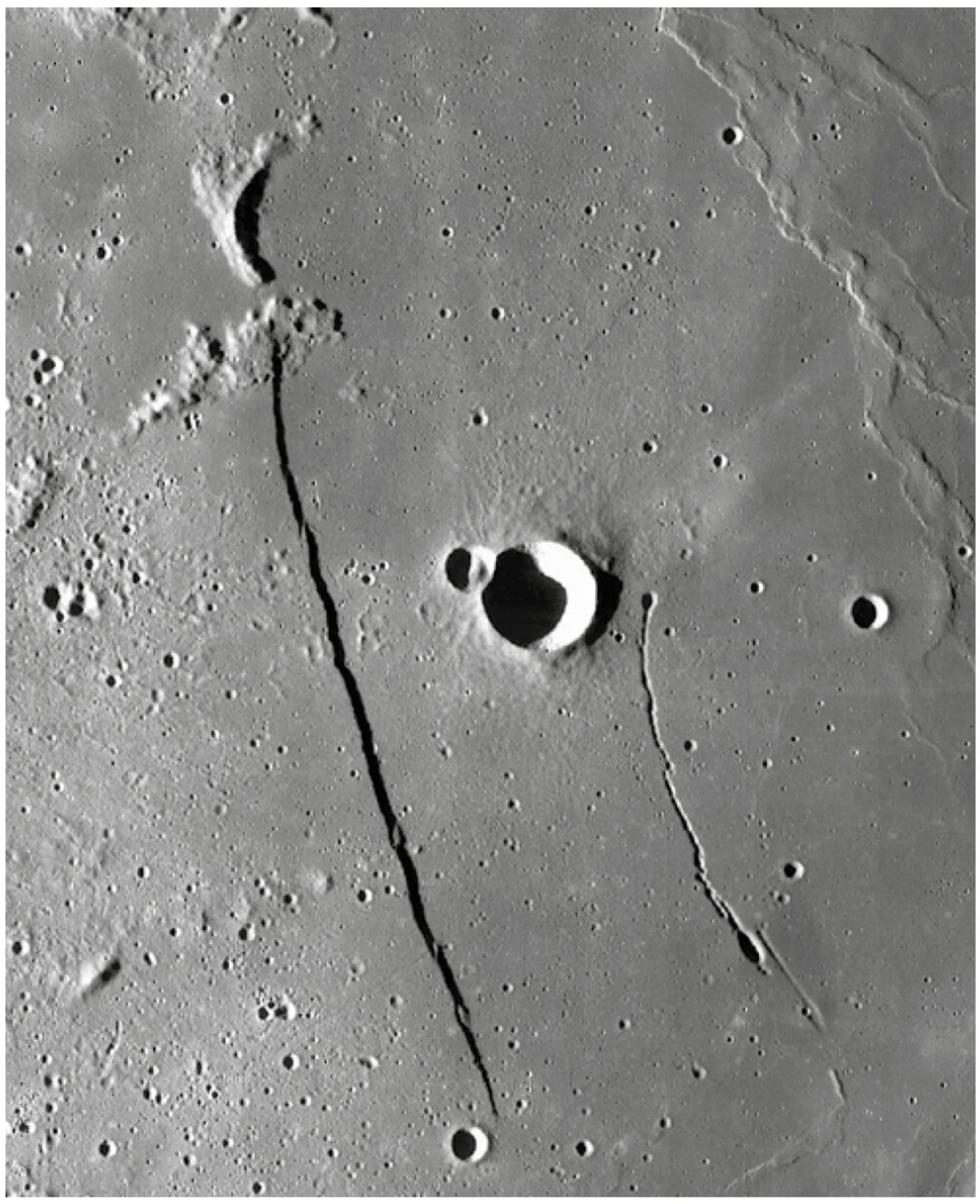
NASA/GSFC/ARIZONA STATE UNIVERSITY

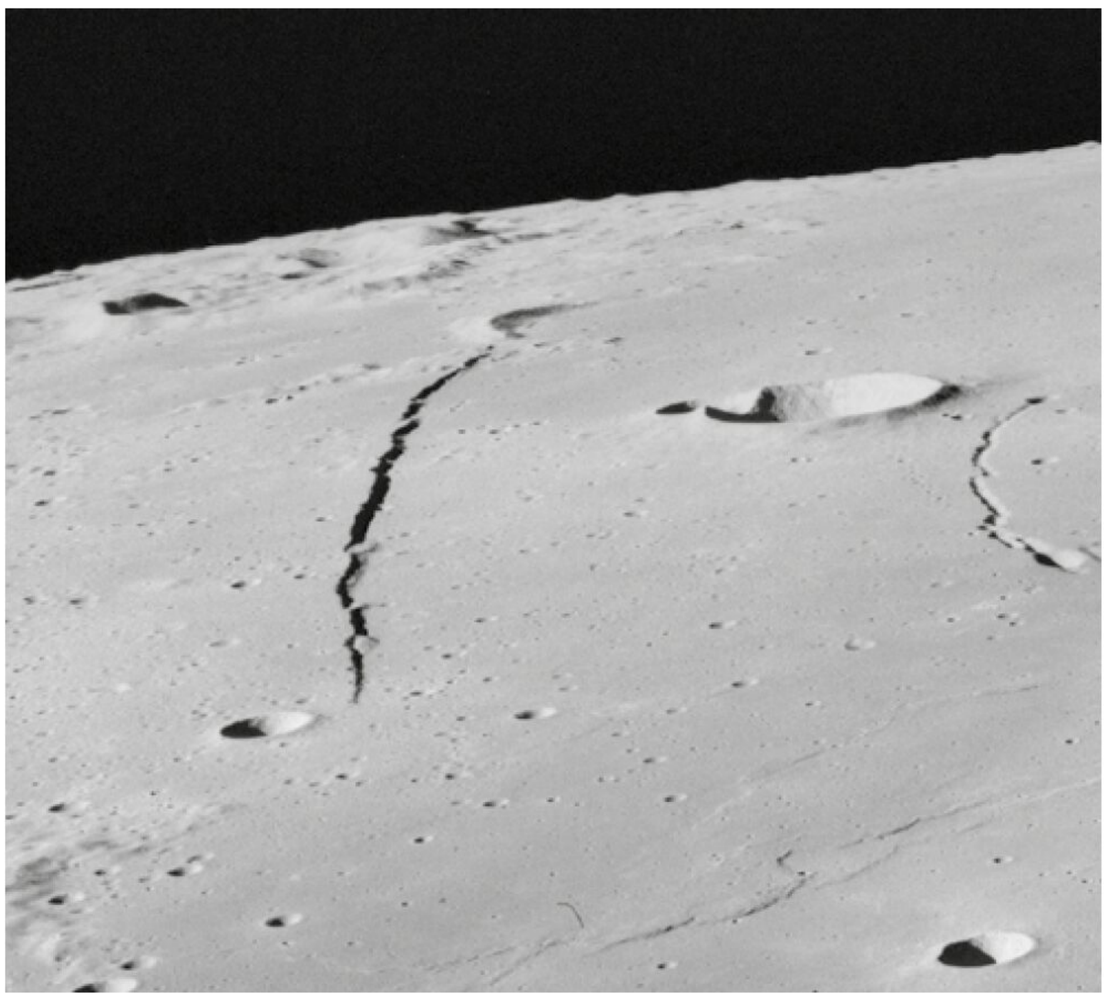
NASA/GSFC/ARIZONA STATE UNIVERSITY



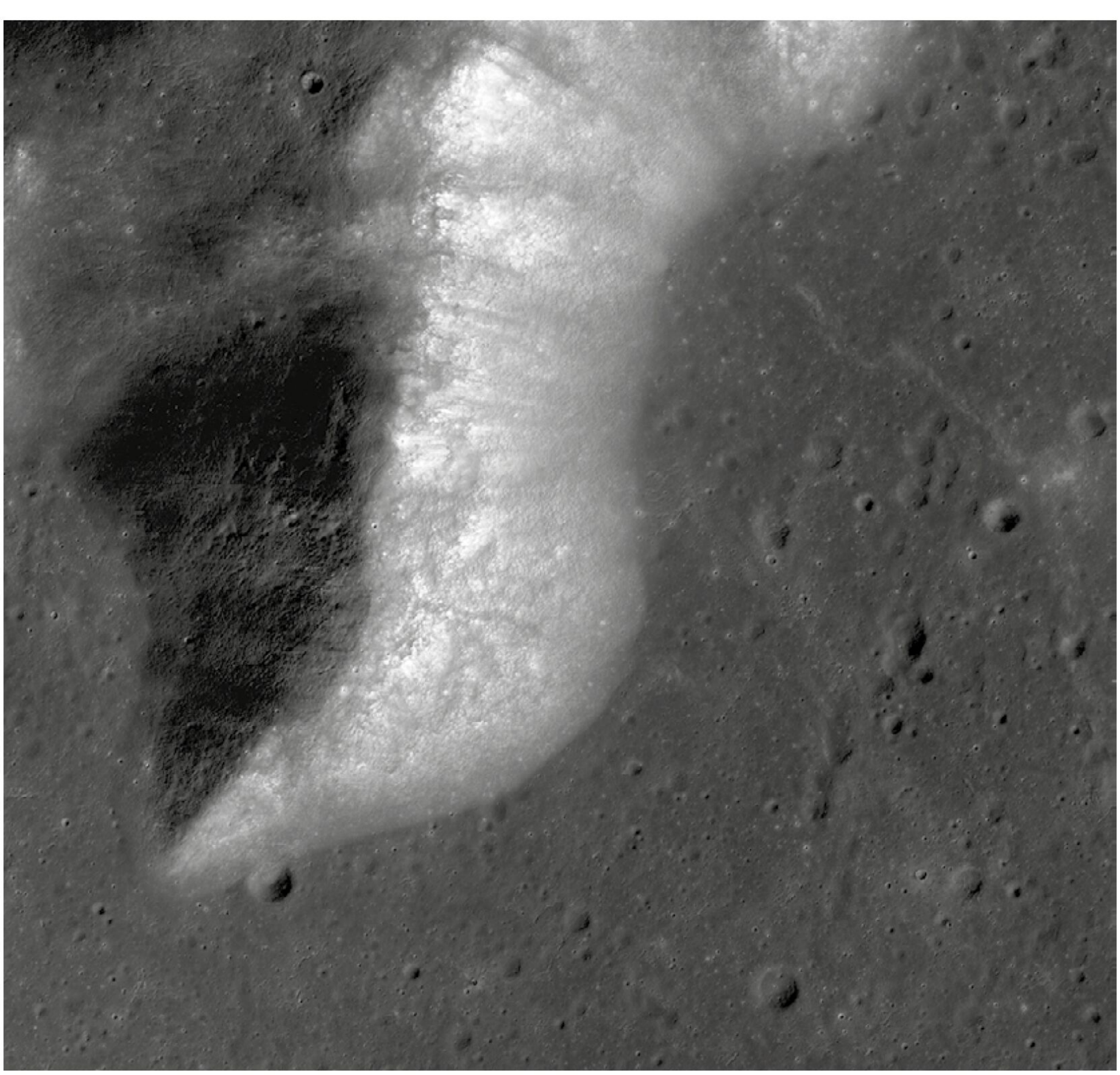

▲ Il polo nord lunare ripreso dalla sonda Lunar Reconnaissance. Alcune zone sul bordo del cratere Peary, al centro, sono “Vette di eterna luce”, cime che ricevono costantemente la luce del Sole

NASA/GSFC/ARIZONA STATE UNIVERSITY



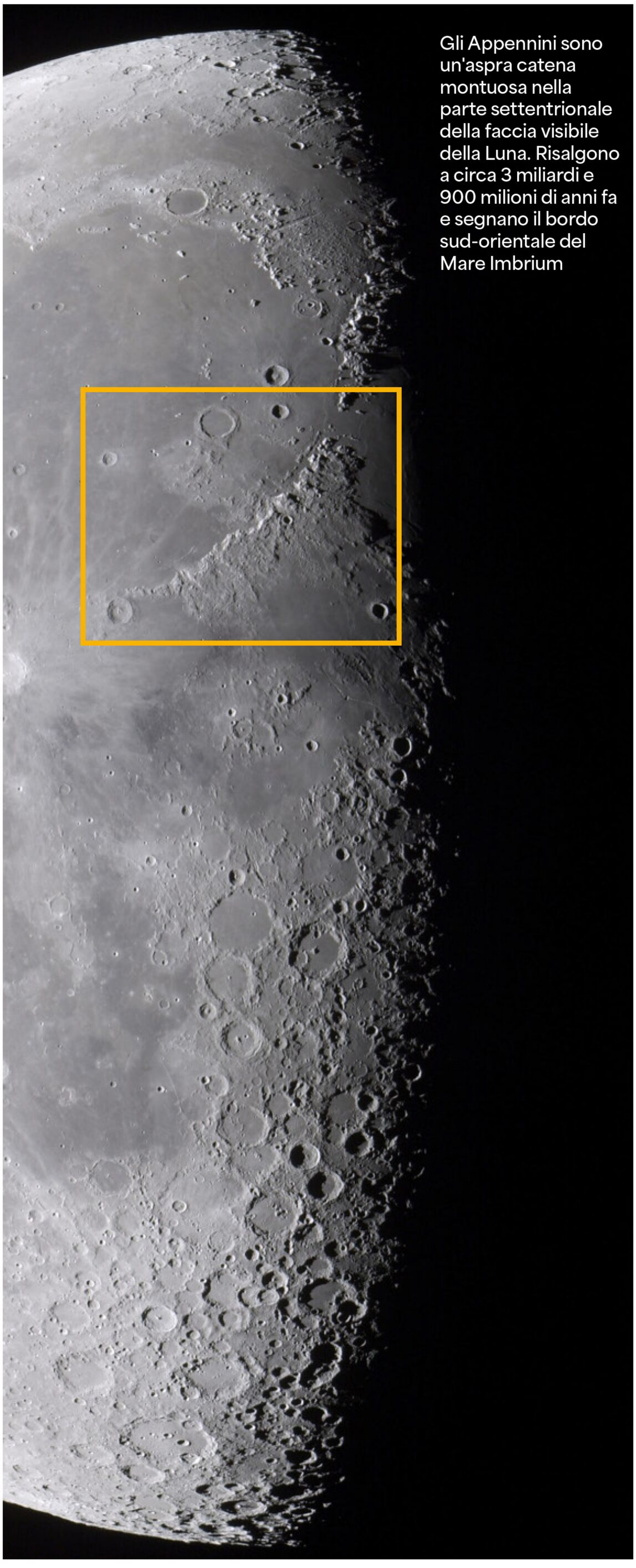


▲◄ Rupes Recta, qui ripresa con due angolazioni diverse da Lro, è una delle più famose scarpate lunari e una delle strutture più apprezzate tra gli astrofili. Lunga 110 chilometri e larga tra 2 e 3, ha un'altezza di 240-300 metri con un pendio dolce, nonostante il contrasto tra luce e ombra la faccia apparire quasi verticale. Vicino alla faglia si vede il cratere Birt

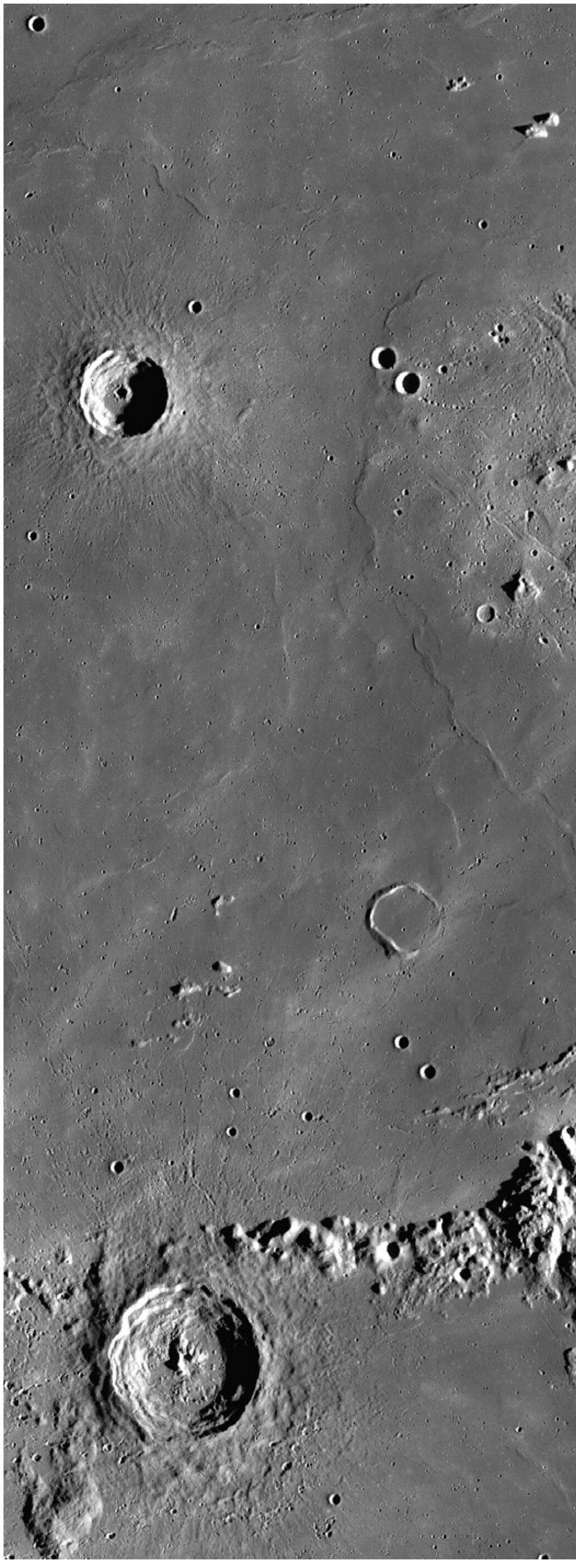


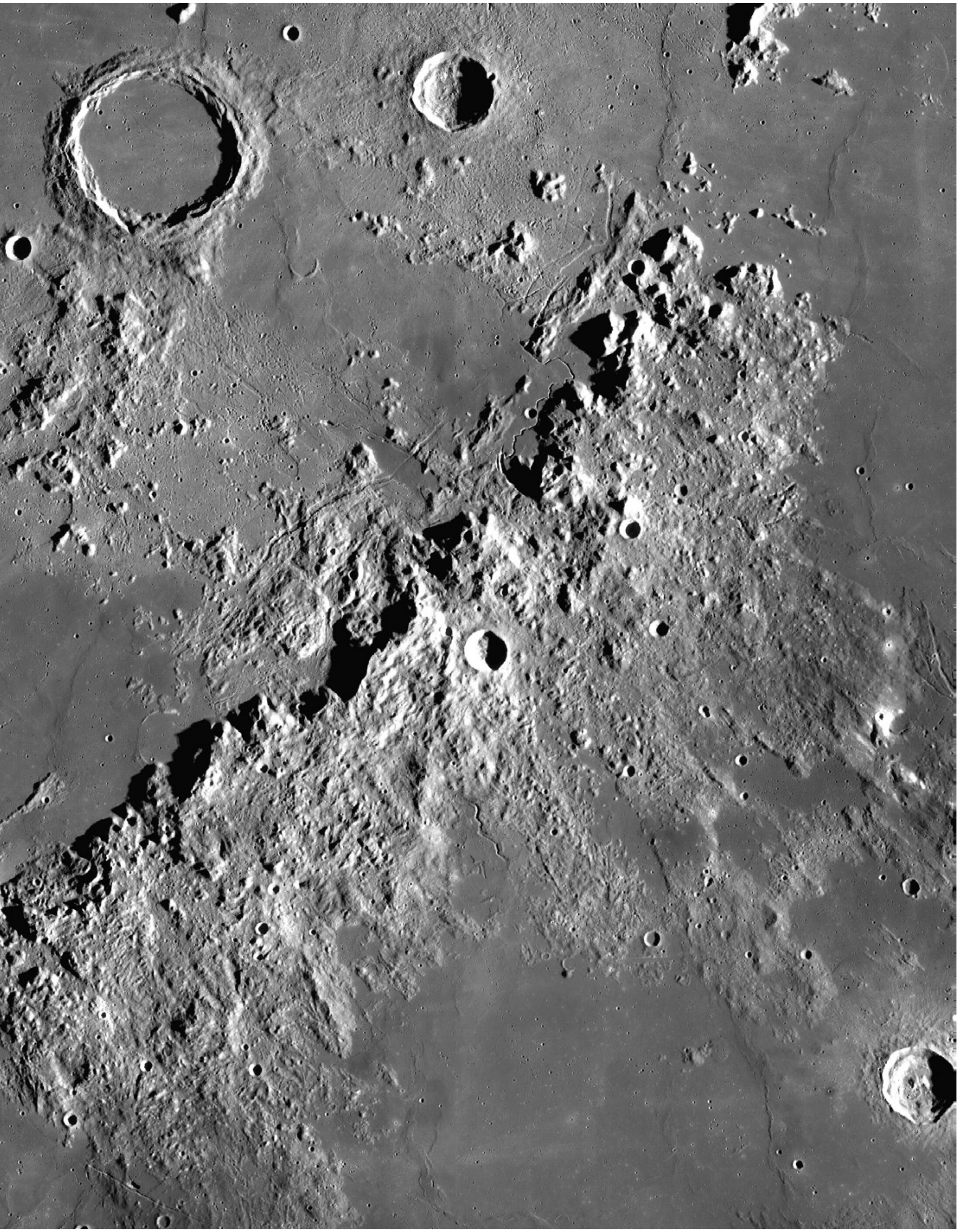
► Il Mons Piton era una delle tante cime dell'anello montuoso interno del bacino del Mare Imbrium. quando questo si è formato per l'impatto di un asteroide circa 3 miliardi e 900 milioni di anni fa. Probabilmente era alto fino a cinque chilometri sopra il fondo del bacino. Tra circa 3 miliardi e 700 milioni e 2 miliardi e 500 milioni di anni fa, le eruzioni vulcaniche hanno gradualmente riempito il bacino e la lava ha sommerso la maggior parte del complesso. Oggi il Mons Piton si erge 2,3 chilometri sopra il fondo

NASA/GSFC/ARIZONA STATE UNIVERSITY



Gli Appennini sono un'aspra catena montuosa nella parte settentrionale della faccia visibile della Luna. Risalgono a circa 3 miliardi e 900 milioni di anni fa e segnano il bordo sud-orientale del Mare Imbrium





PETER ARMSTRONG E NASA/GSFC/ARIZONA STATE UNIVERSITY

# CRATERI E CIRCHI, MILIONI DI IMPATTI

SULL'EMISFERO VISIBILE DALLA TERRA TRECENTOMILA STRUTTURE MONTUOSE TONDEGGIANTI SUPERANO IL CHILOMETRO DI DIAMETRO. ANCORA PIÙ NUMEROSE SULL'EMISFERO NASCOSTO. FU IL GEOLOGO EUGENE SHOEMAKER A DIMOSTRARE CHE NON HANNO ORIGINE VULCANICA

◀ Il cratere Laplace A, ai margini del Sinus Iridum, è un perfetto esempio di cratere molto giovane, formatosi nel fondale di basalto del bacino. Ha un diametro di 8 km ed è profondo 1600 m

Vulcani o crateri scavati dall'impatto di asteroidi e meteoriti? Fino agli anni Sessanta si è discusso sull'origine delle numerosissime formazioni geologiche tondeggianti che coprono la Luna. Grazie al geologo e planetologo americano Eugene Shoemaker, ora sappiamo che quasi tutte sono state prodotte da impatti più o meno catastrofici.

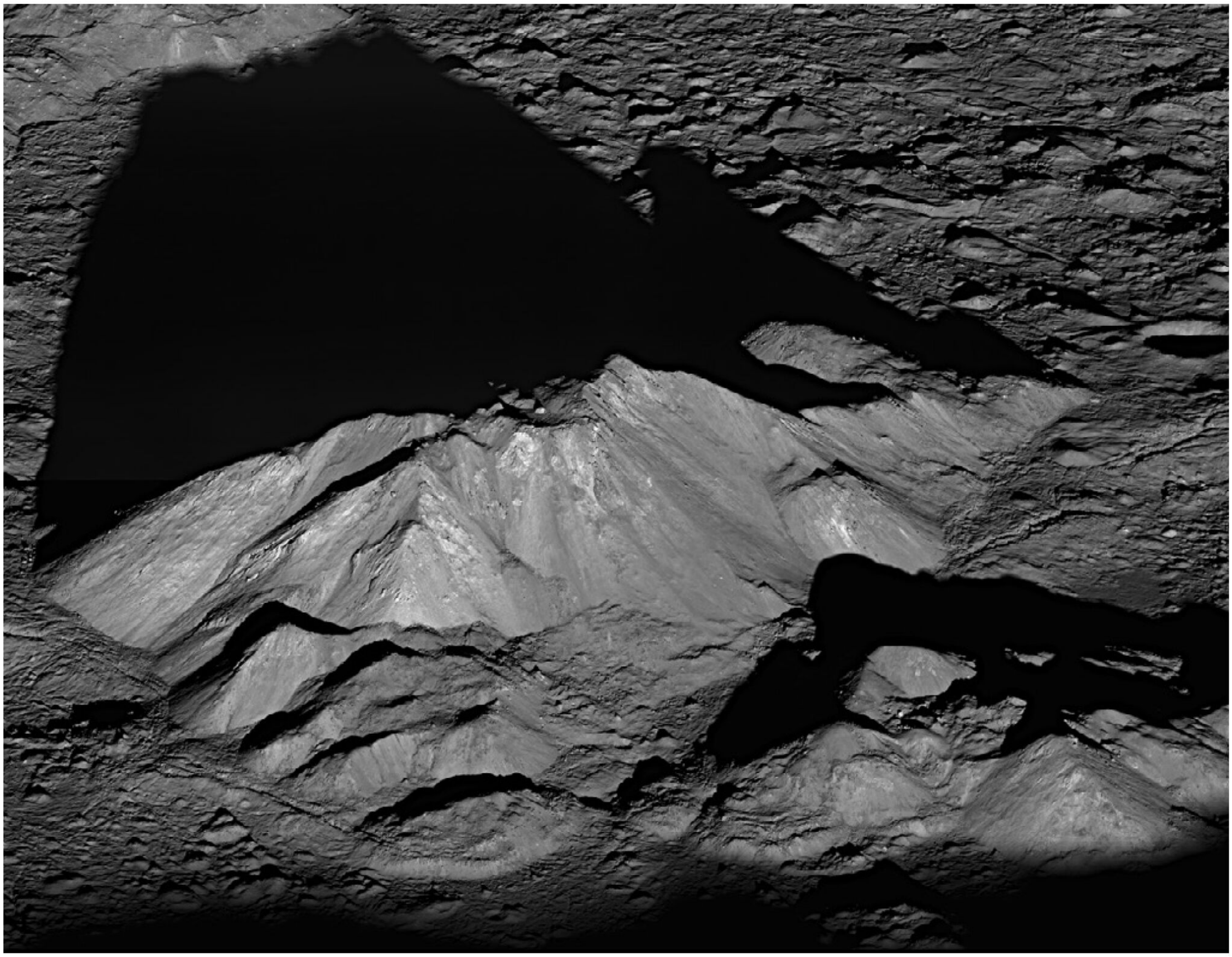
I "crateri" si distinguono perché hanno un picco centrale (Copernicus è il prototipo), mentre i "circhi" hanno una platea piatta, di solito scura, che ricorda il colore dei "mari": Plato e Grimaldi ne sono due esempi perfetti.

Più fitti sugli altipiani, meno nei "mari", i crateri e i circhi sono la caratteristica dominante della Luna, quella che subito richiama l'attenzione appena si avvicina l'occhio al telescopio. Le loro dimensioni e le strutture geologiche sono estremamente varie. Nell'emisfero visibile dalla Terra, i crateri con diametro superiore al chilometro sono circa 300.000.

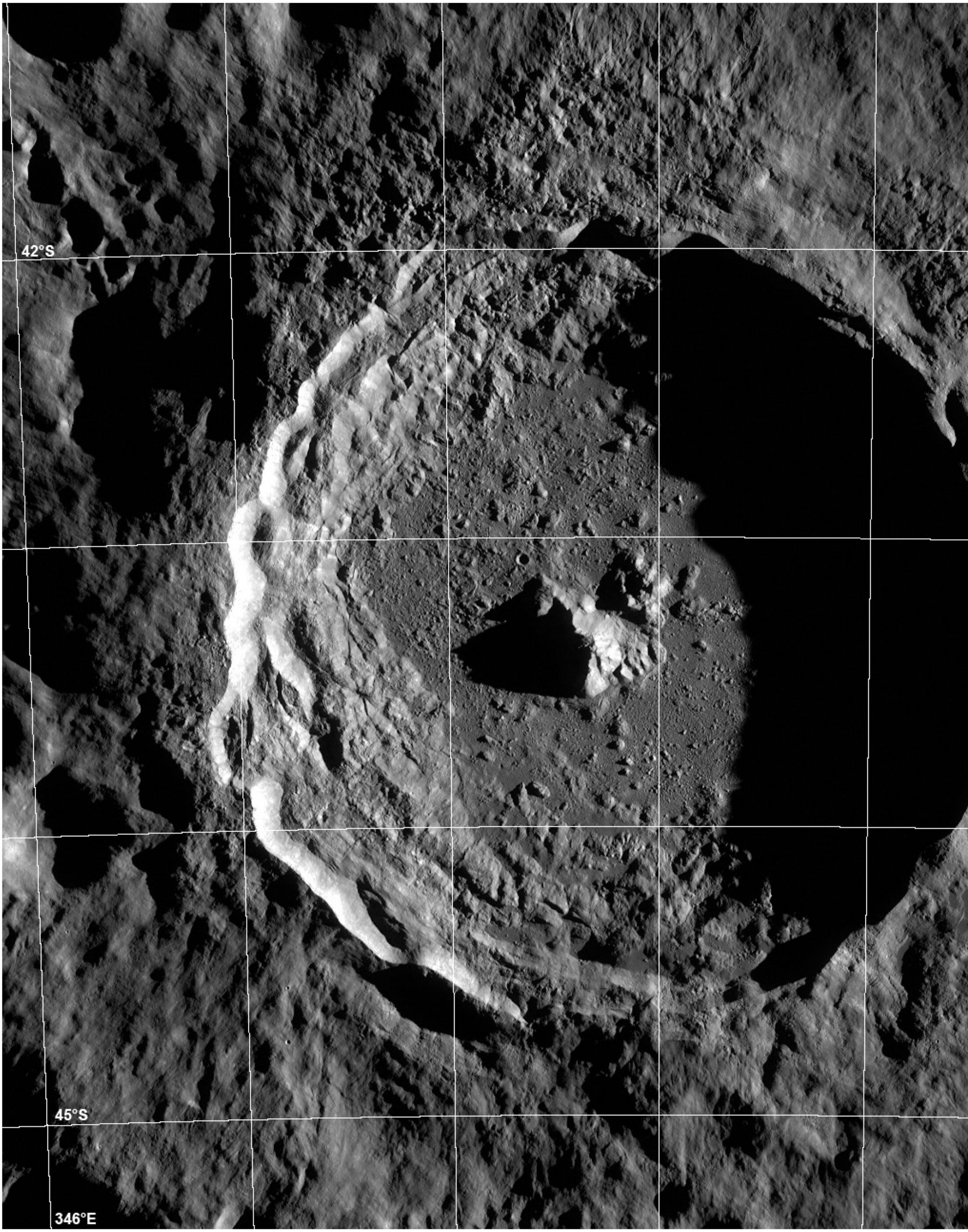
Lungo il terminatore, al confine tra luce e buio, il gioco delle ombre suscita l'impressione di grandi profondità e di picchi impervi. Impressione certamente corretta ma eccessiva, tanto da falsare le proporzioni reali. Il cratere Bailly, per esempio, ha un diametro di 295 km e una profondità di 3600 m, con un rapporto diametro/altezza di 82/1; Clavius, largo 230 km, ha un rapporto di 47/1, e generalmente il rapporto diminuisce via via che si passa a crateri più piccoli: Gemma Frisius, largo 86 km (con rapporto 19/1) e Moesting, con diametro 23 km e rapporto di 12/1. Se ci trovassimo in mezzo alla platea di un grande cratere non vedremmo l'anello montuoso circostante, perché la curvatura della superficie lunare sarebbe maggiore dell'altezza dei picchi dell'anello montuoso, che quindi resterebbero sotto l'orizzonte.

Non ci sono però regole assolute: la conformazione dei crateri è estremamente varia. Alcuni hanno uno o più picchi centrali, altri un fondo liscio e piatto; in qualche caso si hanno crateri con doppi anelli concentrici, come in Taruntius, altre volte la forma è fortemente ellittica o addirittura irregolare, a causa di un impatto radente; ci sono crateri con picchi decentrati e crateri fessurati da crepacci, crateri dalla platea collinare e crateri colmi di lava fin quasi all'orlo, crateri ben conservati e crateri semidistrutti, crateri con vaste raggere chiare (più giovani, per esempio Kepler) e crateri senza raggere, quelli primari scava- ▶

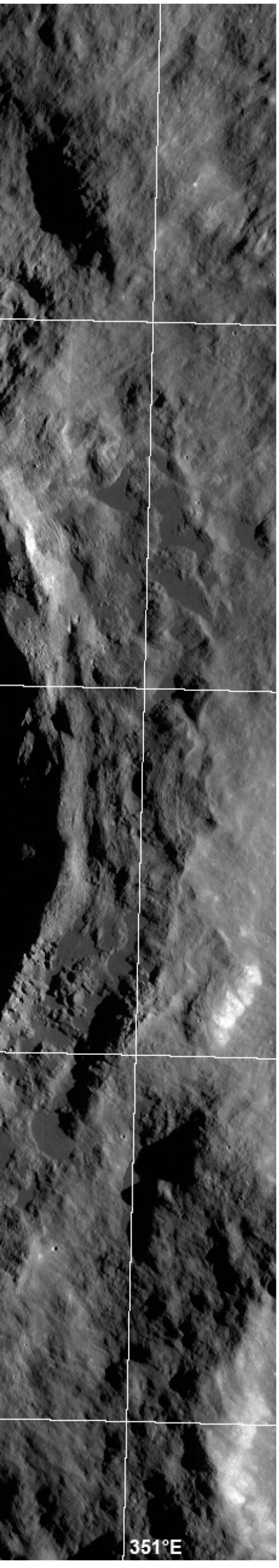
▼ Il complesso montuoso centrale del cratere Tycho si estende per 15 km da sud-est a nord-est (da destra a sinistra nell'immagine) e raggiunge i 2000 m dalla base



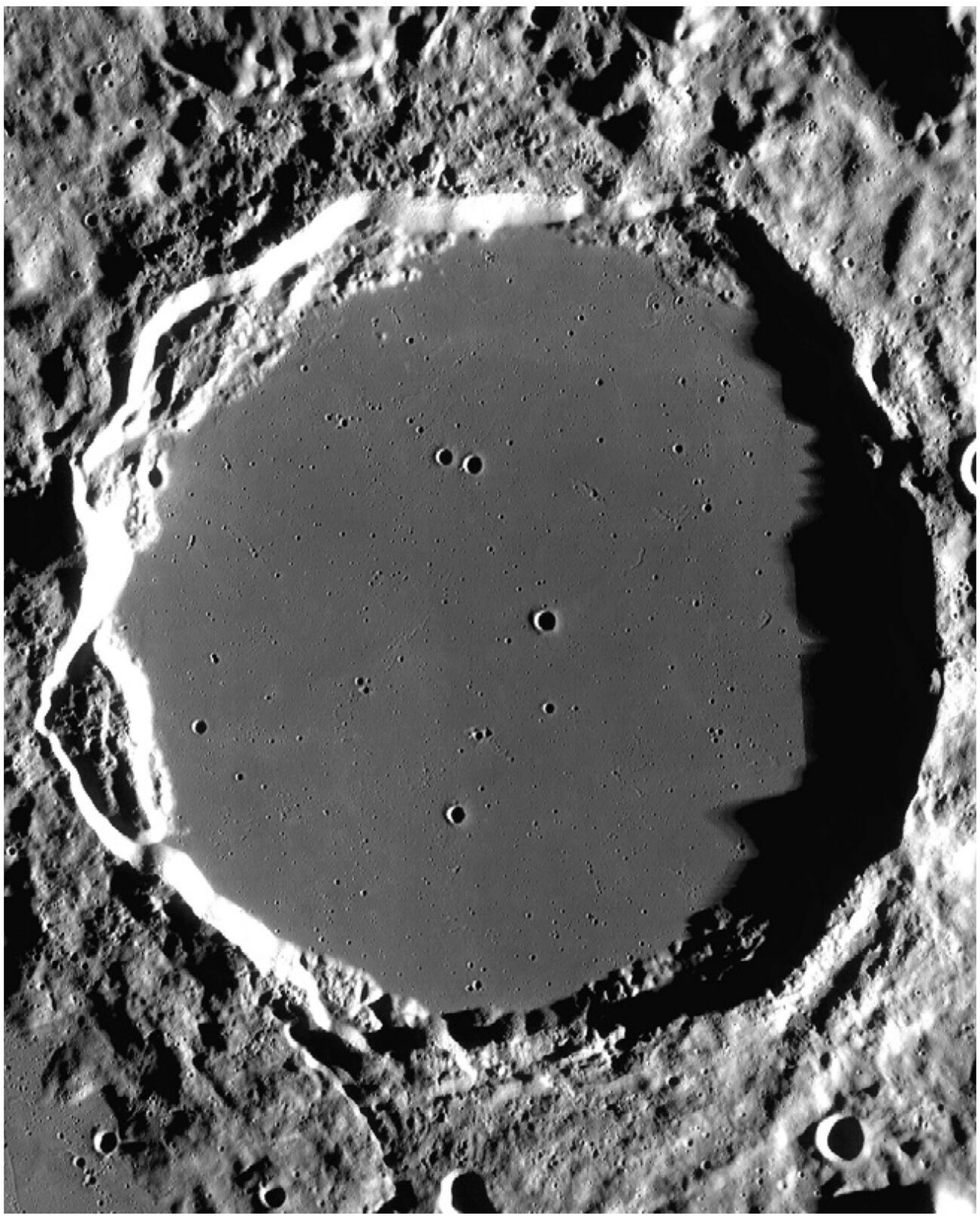
NASA/GSFC/ARIZONA STATE UNIVERSITY (X2)




NASA/GSFC/ARIZONA STATE UNIVERSITY




◀ Alba lunare nel cratere Tycho, visibile a occhio nudo al centro dell'altopiano meridionale della Luna, con una larghezza di 85 km e una profondità di 4,7 km. Si individua facilmente grazie all'imponente sistema di raggi di cui è il centro, tracce a loro volta dell'impatto che ha generato il cratere stesso



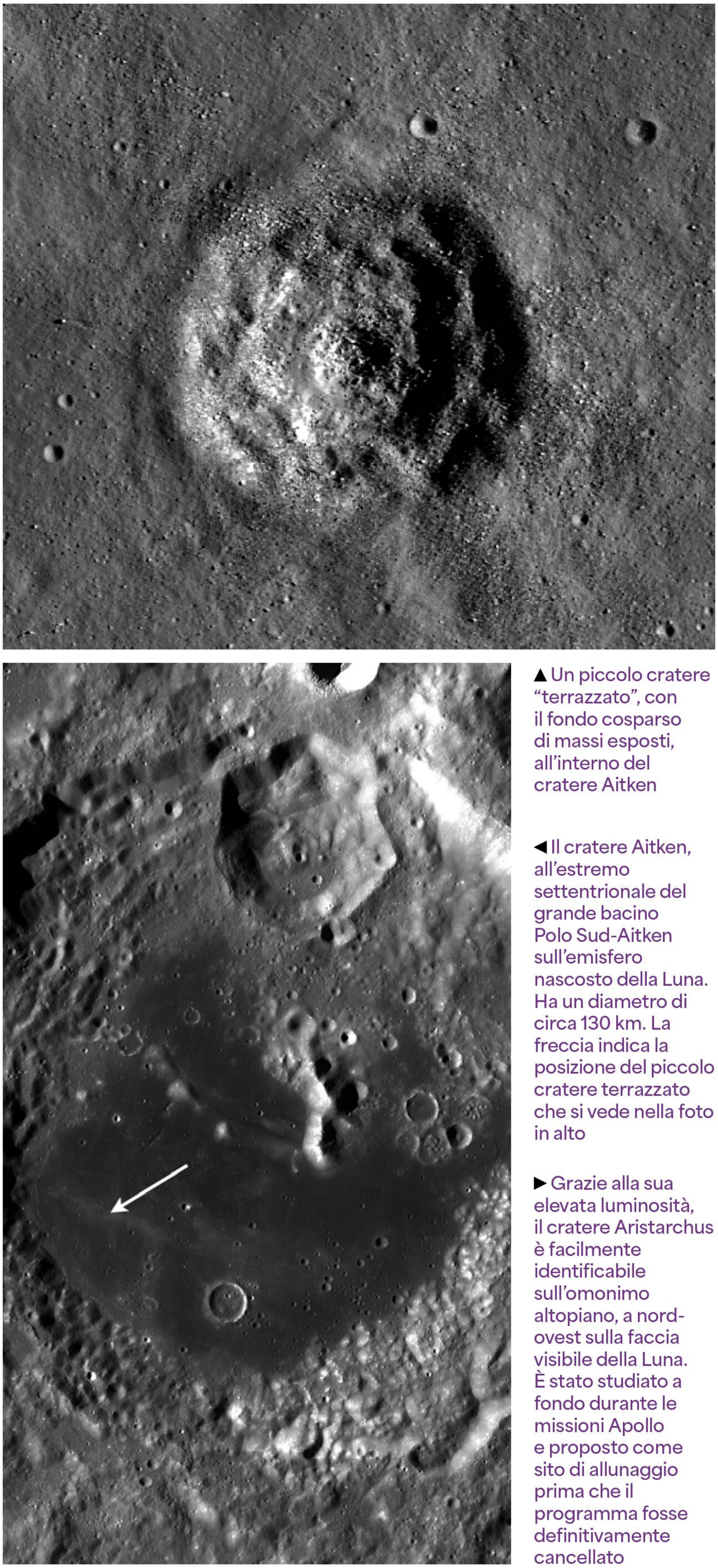
▶ Plato è un perfetto esempio di circo, con una platea piatta formata da lava. Largo 101 km e profondo quasi 1500 m, si trova sulla sponda nord-orientale del Mare Imbrium, all'estremità occidentale dei Montes Alpes

NASA/GSFC/ARIZONA STATE UNIVERSITY (X2)

ti da asteroidi e quelli secondari, prodotti dai materiali sparati lontano dall'impatto principale (*ejecta*). E, soprattutto, ci sono crateri e circhi di ogni dimensione: da centinaia di chilometri a frazioni di millimetro. La superficie lunare ne è satura, ma altri si formano in continuazione per la caduta di altre meteoriti. Come dire... piove sul bagnato.

Il bombardamento ha cancellato quasi tutte le tracce di attività vulcanica ma, a parte i "mari", che sono vasti laghi di magma solidificato, qualche segno è riconoscibile. Indizi di attività vulcanica sono le fessurazioni che si vedono sul fondo di alcuni grandi crateri. E sono vulcanici certi piccoli rilievi circondati da un alone scuro, forse costituito da ceneri eruttive. Ma attenzione, non mancano crateri meteoritici larghi da 1 a 3 km, con un alone scuro formato dagli *ejecta* lanciati intorno dall'impatto: se ne vedono, per esempio, dentro i grandi crateri Schiller e Schickard. Nel Mare Imbrium esistono scarpate lobate, frequenti nei flussi di lava terrestri. Le vescicole contenute in molte pietre raccolte dagli astronauti ci parlano di un magma impregnato di gas. Ma si tratta di lave antichissime, di 3-4 miliardi di anni, mentre le più vecchie lave terrestri hanno 70 milioni di anni: il nostro è un pianeta vivo, la Luna è morta geologicamente poco dopo la sua formazione.

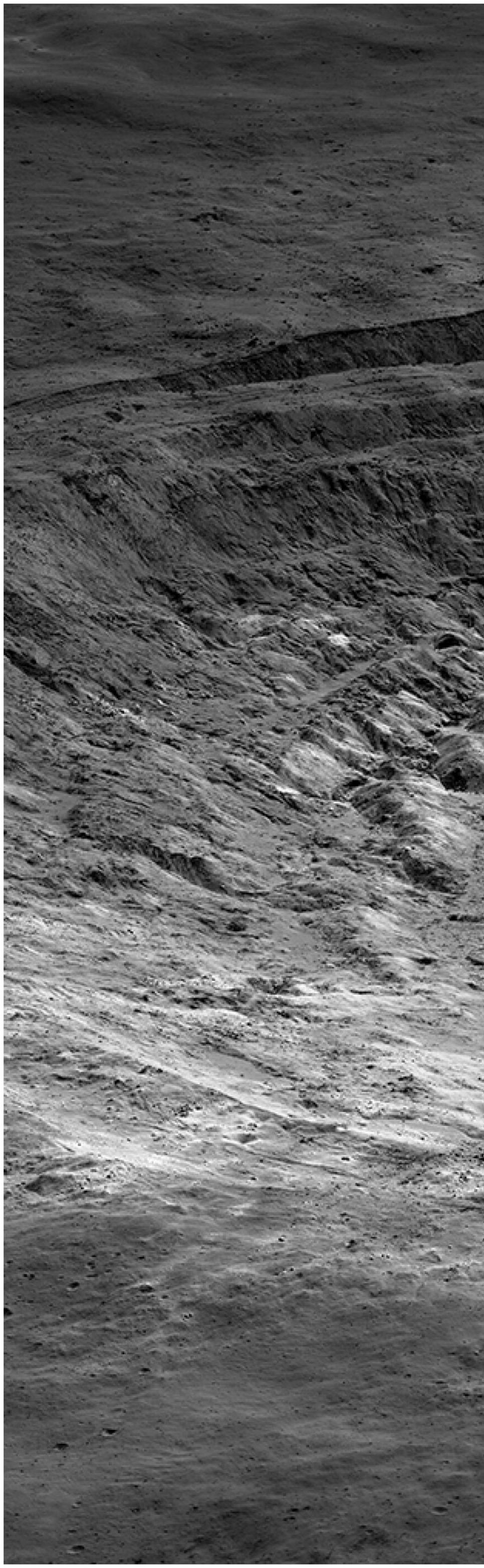
I pochi vulcani riconoscibili sulla Luna sono "domi": strutture a forma di cupola dal diametro di 10-20 km, con un'altezza di 300-400 m e una pendenza di 1-2°. Di solito i domi non sono isolati ma a gruppi. Piccoli domi a forma di panettone sono rigonfiamenti prodotti dalla pressione di gas sotterranei, liberati da un piccolo cratere sulla cima. Una regione lunare caratterizzata da domi imponenti è quella delle Marius Hills, presso il cratere Marius, largo 41 km, nell'Oceanus Procellarum. Altri domi sorgono vicino ai crateri Hortensius e Milichius. I Mons Rumker sono un vasto complesso di domi nell'Oceanus Procellarum. Isolato è invece il Mons Gruithuisen, nel Mare Imbrium. La scarsa elevazione permette di osservare i domi al telescopio solo quando sono sul terminatore, rischiarati da luce radente. L'esplorazione diretta era stata presa in considerazione, ma non ha avuto seguito per il taglio delle ultime missioni Apollo. ■



▲ Un piccolo cratere “terrazzato”, con il fondo cosparso di massi esposti, all’interno del cratere Aitken

◀ Il cratere Aitken, all’estremo settentrionale del grande bacino Polo Sud-Aitken sull’emisfero nascosto della Luna. Ha un diametro di circa 130 km. La freccia indica la posizione del piccolo cratere terrazzato che si vede nella foto in alto

▶ Grazie alla sua elevata luminosità, il cratere Aristarchus è facilmente identificabile sull’omonimo altopiano, a nord-ovest sulla faccia visibile della Luna. È stato studiato a fondo durante le missioni Apollo e proposto come sito di allunaggio prima che il programma fosse definitivamente cancellato

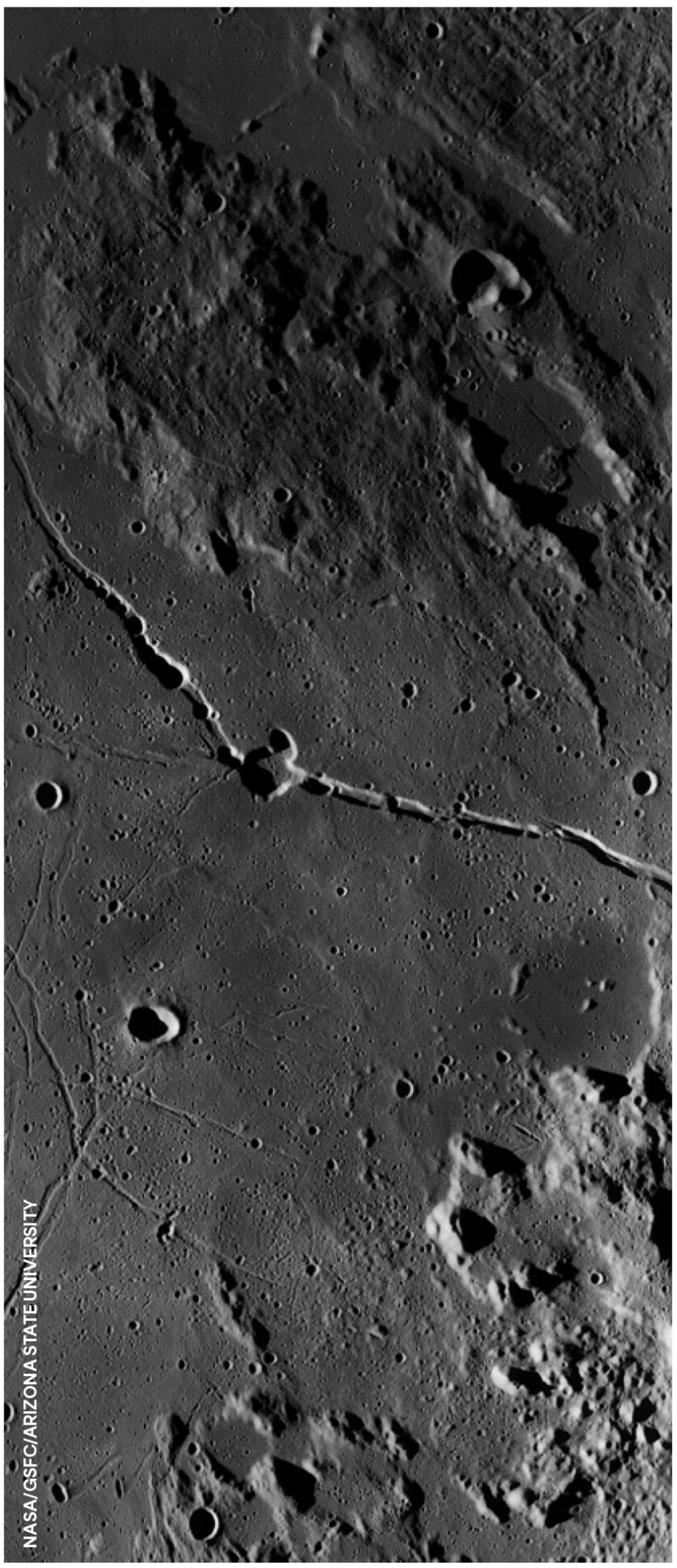


# MARI, GOLFI, TERRE E SOLCHI

I BACINI SCURI PIANEGGIANTI OCCUPANO IL 15 PER CENTO DELLA SUPERFICIE LUNARE. NELL'EMISFERO VISIBILE COPRONO IL 31,2 PER CENTO. CHE QUESTE REGIONI FOSSERO COSTITUITE DA BASALTO ERA GIÀ CHIARO PRIMA DELLE MISSIONI APOLLO

◀ Il Mare Nectaris ripreso da Apollo 11. Il grande cratere poco sotto il centro è Theophilus, mentre sopra si trova Mädler. Il cratere a forma di goccia, in alto a sinistra, è Torricelli

Non servono binocoli o telescopi: è facile notare sulla Luna delle macchie scure che contrastano con zone più chiare. Per una tradizione che risale alle prime osservazioni telescopiche di Galileo, vengono chiamate "mari" o, con termine più recente, "bacini". Ovviamente non sono mari, ma regioni pianeggianti del colore della lavagna. Per analogia con il nostro pianeta, le regioni più chiare, color cemento, sono chiamate "terre". Non c'è soluzione di continuità tra i grandi crateri a fondo piatto (circhi) e i piccoli bacini. Crisium può essere considerato un enorme circo, oppure un piccolo mare. Una forma tondeggiante, sufficiente a evocare remoti terrificanti impatti, si riconosce in quasi tutti gli altri mari: Nectaris e Humorum tra i minori, Serenitatis e Imbrium tra i maggiori. I bacini circolari, faccia nascosta inclusa, sono




▶ Il solco di Hyginus corre per 220 km da nord-ovest a est, attraversando il cratere omonimo. Si è formato per separazione tra due faglie, è largo al massimo 2 km ed è punteggiato da piccoli crateri, che si presume siano i punti in cui ha ceduto la copertura di un tubo di lava al di sotto

NASA

30. Il diverso grado di erosione permette di stabilirne l'età relativa. I mari Imbrium e Orientale sono i bacini più giovani, e quindi ancora poco mascherati da detriti di ere geologiche successive. Tutti conservano tracce più o meno evidenti di un anello montuoso; anzi, quando le dimensioni sono grandi (oltre 900 km, come Imbrium e Orientale) hanno due o più anelli concentrici. L'impatto originario è denunciato dall'asimmetria dei due pendii: più ripido quello rivolto verso l'interno del bacino, digradante con dolcezza il versante esterno.

Già nel 1893, Gilbert intuì l'origine da impatto del Mare Imbrium, identificando anche varie formazioni radiali intorno al bacino, tra le quali la Valle delle Alpi, come il prodotto di materiale scagliato nell'impatto. L'anello montuoso esterno di questo bacino è largo 1300 km e si solleva fino a 7000 m rispetto al fondo. Poiché il materiale di ricoprimento è spesso, secondo Baldwin circa 5 km, se ne deduce che il bacino debba essere profondo una dozzina di chilometri, cioè assai meno di quando fu prodotto. Wilhelm e Mac Cauley hanno identificato tre anelli montuosi sollevati dall'impatto di Imbrium. I due più interni sono quasi cancellati, perché il materiale dei mari li ha in gran parte riassorbiti. All'esterno, invece, l'anello è composto dagli Appennini a sud-ovest, dai Carpazi a sud e dal Caucaso a est. Le Alpi, con le regioni montagnose vicino ad Archimedes e a Plato, sono ciò che resta di un anello intermedio. Poco o nulla rimane dell'anello più interno, largo 600 km, testimoniato ormai soltanto da colline arrotondate disposte a cerchio. Lo studio del materiale espulso da Imbrium, e finito nella formazione Fra Mauro, era l'obiettivo della sfortunata missione di Apollo 13, che dovette tornare a terra rinunciando allo sbarco. Le cose andarono meglio agli astronauti di Apollo 14, che raccolsero in proposito una gran quantità di dati. Il materiale espulso da Imbrium è disposto intorno a Fra Mauro in collinette e corrugamenti rettilinei, alti un centinaio di metri e il cui orientamento è radiale rispetto al Mare Imbrium. L'impatto fu così violento che a 1300 km si trovano ancora crateri secondari larghi 9 km. Quando il 5 febbraio 1971 sbarcarono presso Fra Mauro, Shepard e Mitchell andarono a raccogliere campioni su di un vicino corrugamento, che chiamarono "cratere conico". Vicino al cratere persero l'orientamento, ma riuscirono a portare a terra una quantità di rocce rappresentanti epoche e fenomeni diversi. Alcune brecce friabili sono più recenti e derivano da piccoli impatti locali successivi.

Quelle più compatte, invece, risalgono probabilmente proprio a quell'evento catastrofico, databile a circa 3 miliardi e 900 miliono di anni fa. Tutti i bacini più grandi, con la sola eccezione del Mare Orientale, sono più antichi di Imbrium, il ▶

che indica che si formarono durante i primi 700 milioni di anni della storia lunare. Il Mare Orientale è il più giovane dei bacini lunari. Quasi tutta la sua superficie originaria è ancora esposta. Il diametro raggiunge i 900 km.

I mari occupano il 15% dell'intera superficie lunare e sono quasi assenti nell'emisfero non visibile dalla Terra. Nell'emisfero che vediamo rappresentano invece il 31,2%, mentre in quello opposto solo il 2,5%. Che queste pianure fossero costituite da basalto era già chiaro prima delle missioni Apollo. Il lavoro degli astronauti, oltre a confermare questa interpretazione, ha permesso di analizzarne accuratamente le rocce e di stabilire che il più giovane basalto lunare risale a 3 miliardi di anni fa. I campioni provengono da regioni diverse: Mare Tranquillitatis (Apollo 11), Mare Cognitum (Apollo 12), Mare Imbrium (Apollo 15), Mare Serenitatis (Apollo 17), più qualche pietra del Mare Foecunditatis, raccolta dalla sonda sovietica Luna 16. Ciò consente di tracciare un quadro geologico esauriente.

## Il magnifico Sinus Iridum

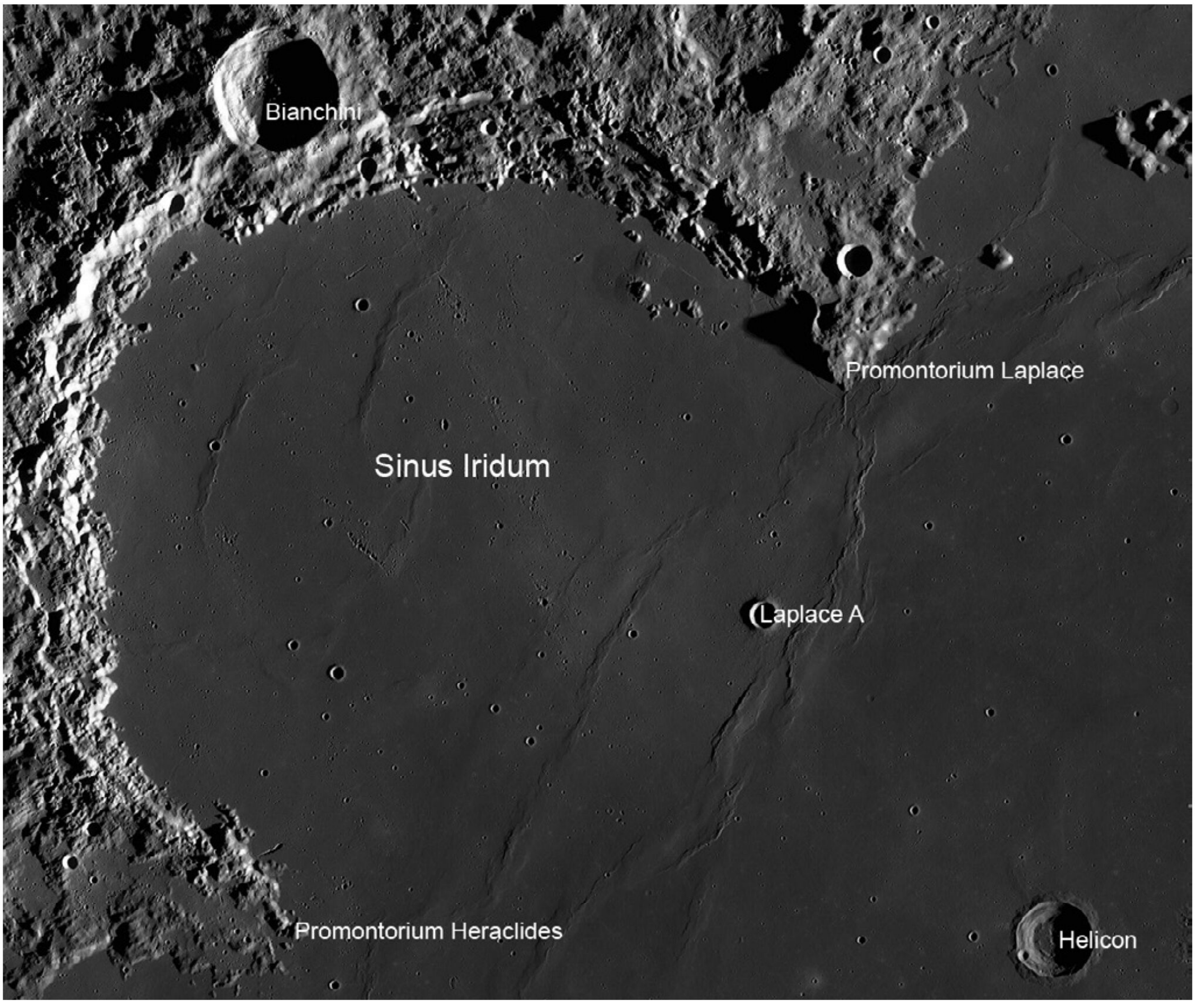
Quelli che chiamiamo "golfi" sono archi di anelli montuosi di grandi crateri antichi, in parte demoliti e allagati da lave rilasciate successivamente.

Il Sinus Iridum, ai bordi del Mare Imbrium, è il golfo più bello: due terzi del suo anello, largo quasi 300 km, sono ancora nettamente riconoscibili. Il promontorio Laplace e il promontorio Heraclides ne segnano le estremità.

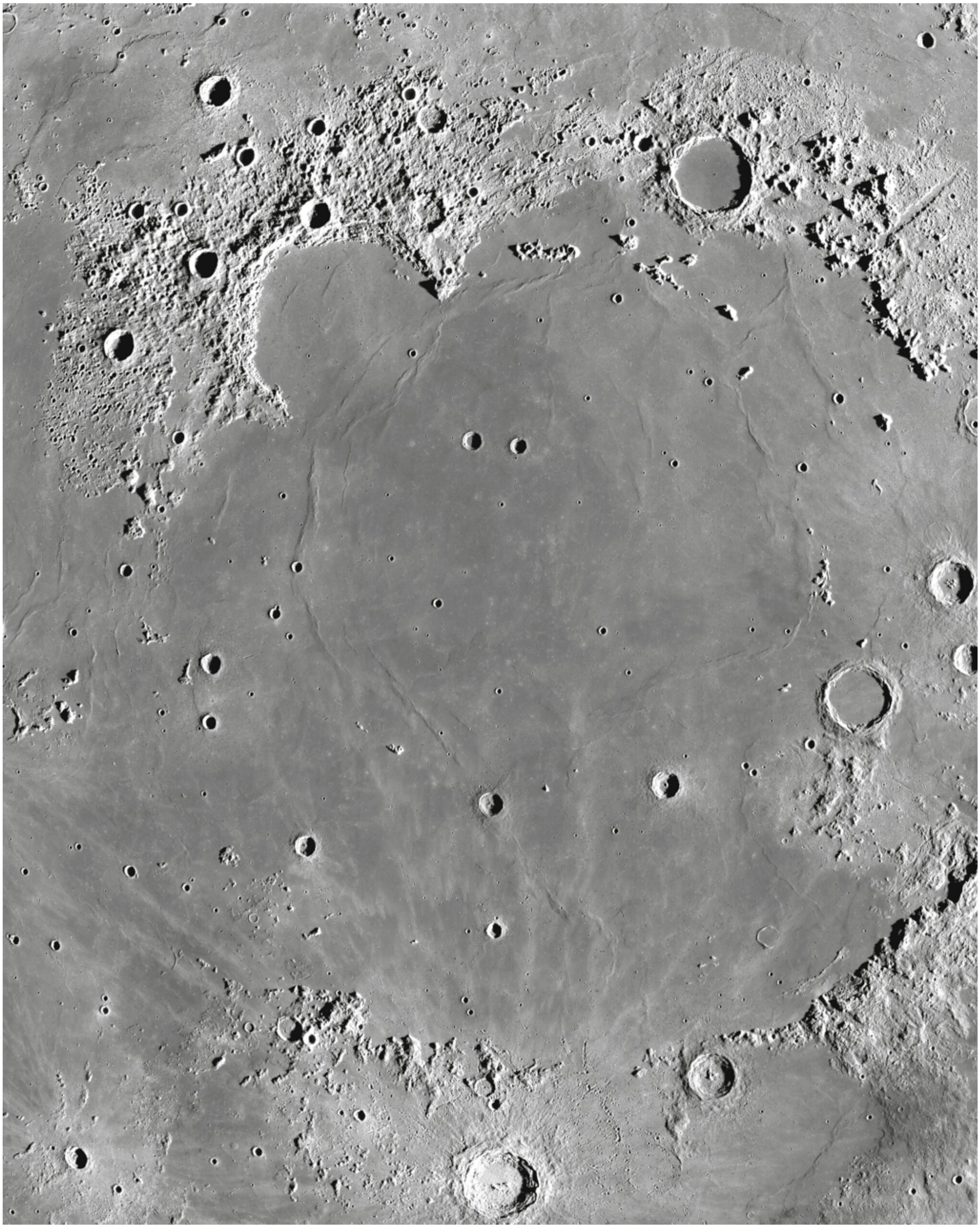
Al telescopio, è molto suggestivo veder sorgere il Sole sulle lievi ondulazioni della Piana di Imbrium e di altri mari. Si tratta di fronti di flusso di lava alti da 10 a 65 m, con altezze medie di 30-35 m. In base al conteggio dei crateri, sembra che nel Mare Imbrium queste onde di lava, che si sono spostate di qualche centinaio di chilometri dalla loro origine, siano state emesse in tre tempi successivi abbastanza recenti: 3 miliardi di anni fa, 2 miliardi e 700 milioni di anni fa e 2 miliardi e 500 milioni di anni fa.

La sonda della Nasa Clementine, in orbita lunare polare e dotata di laser-altimetro, ha permesso di stabilire come il livello medio tra bacini ▶

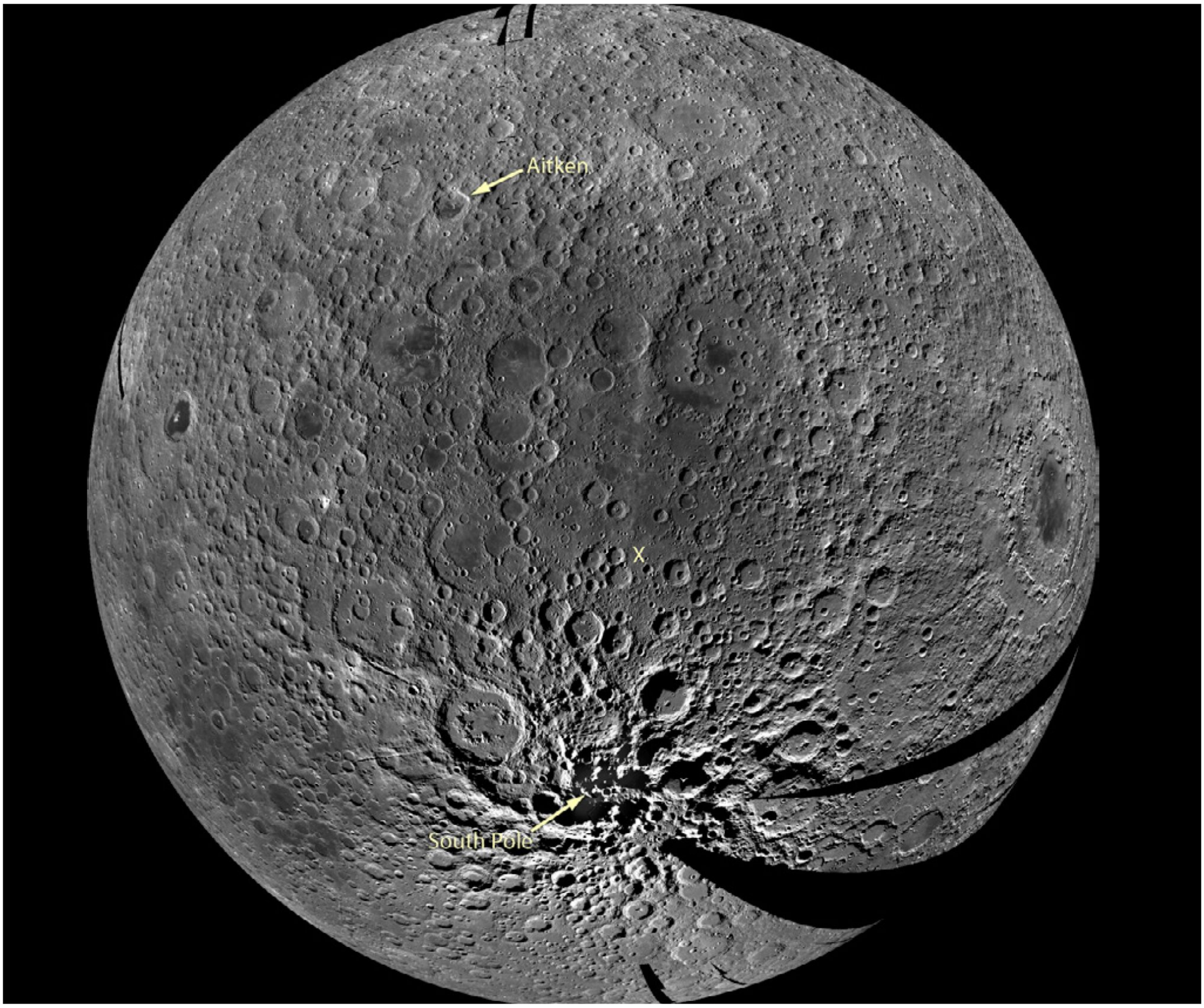
▼ Il Sinus Iridum, ai bordi del Mare Imbrium, ripreso dal Lunar Reconnaissance Orbiter. La freccia indica il punto in cui, nel 1969, ha toccato il suolo la sonda sovietica Luna 17, dalla quale è sceso il rover Lunokhod 1, il primo veicolo automatico a percorrere la superficie di un corpo celeste diverso dalla Terra. Lunokhod 1 è rimasto operativo per 11 giorni lunari (321 giorni terrestri) e ha percorso in tutto 10 km




NASA/GSFC/ARIZONA STATE UNIVERSITY (X2)



▲ Il Mare Imbrium è uno dei più grandi crateri del Sistema solare. Si è formato per l'impatto di un protopianeta durante il cosiddetto "Grande Bombardamento Tardivo", per poi riempirsi di lava basaltica. L'immagine è una proiezione ortografica di mosaico di foto realizzate dal Lunar Reconnaissance Orbiter




NASA/GSFC/ARIZONA STATE UNIVERSITY (X2)

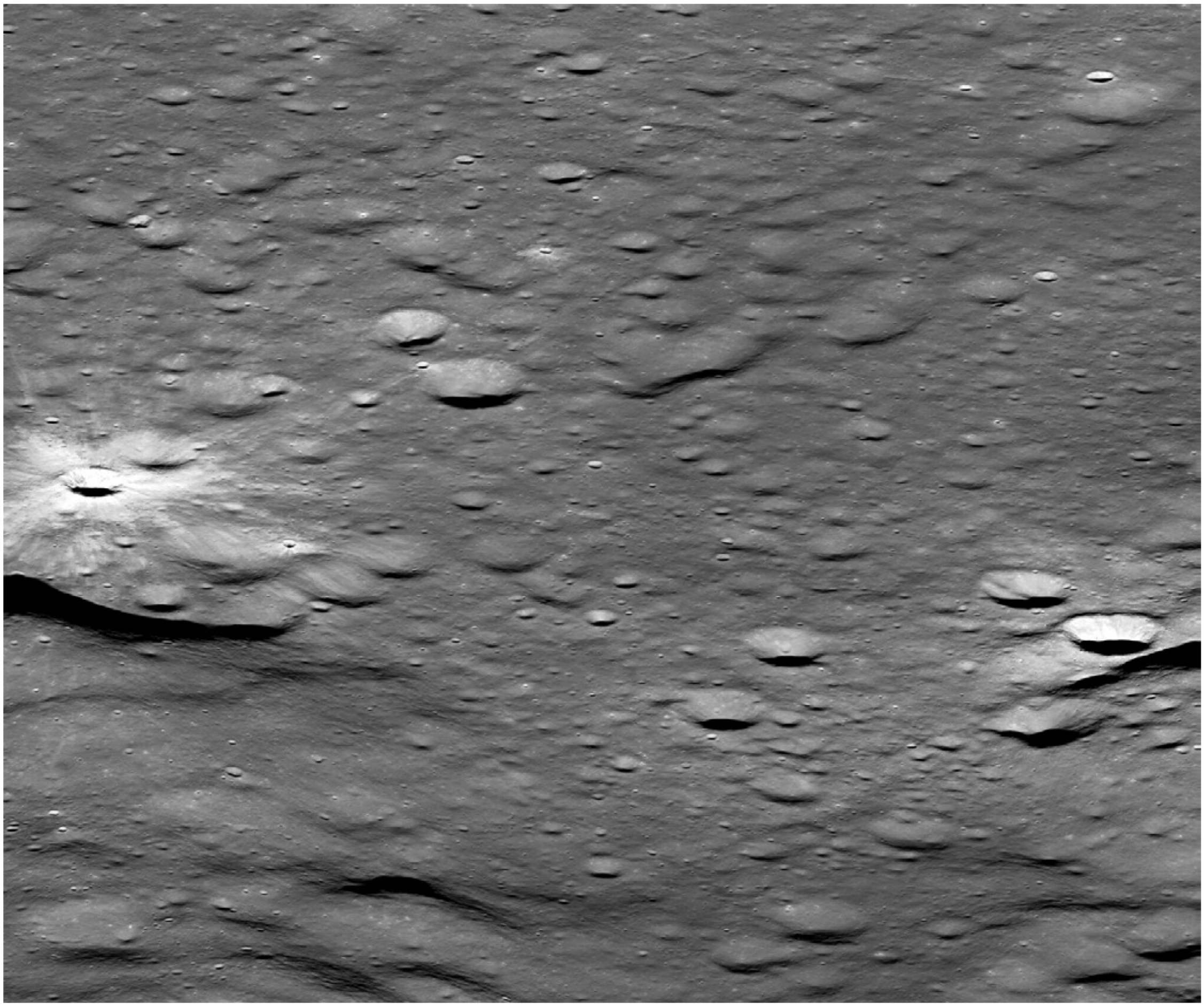
depressi e terre si collochi a 3 km. Il bacino lunare più antico è Aitken (omonimo di un cratere vicino), ha un diametro di 2500 km e occupa la regione intorno al polo sud lunare, prevalentemente nell'emisfero inosservabile dalla Terra. Il dislivello tra la zona più depressa e quella più elevata è di 13.000 m. Aitken è anche il più grande bacino che si conosca nel Sistema solare.

Gli assestamenti della crosta lunare hanno generato solchi (*rimae*) e faglie (*rupes*). L'esempio più noto è la Rupes Recta nel Mare Nubium, lunga 110 km e alta 240-300 m. Numerosi sono i solchi e i crepacci nei mari lunari e anche nelle terre e nei crateri, ma non tutti hanno la stessa origine. Alcuni, e tra questi la maggior parte dei crepacci sul fondo di crateri, sembrano dovuti a una fessurazione della platea nell'assestamento seguito all'impatto. Altri, situati nei bacini, hanno una conformazione tortuosa, nascono da una cavità priva di bordo e corrono anche per centinaia di chilometri, restringendosi nella parte finale. Questi sono probabilmente collegati all'emissione di lava che ha formato i mari in cui si trovano. Il Canale (*rima*) Hadley, che fu visitato dagli astronauti di Apollo 15, è il caso meglio studiato. Corre vicino al monte omonimo, che è una propaggine degli Appennini, e nei suoi pressi l'equipaggio dell'Apollo 15 ha posto il sacrario "Fallen Astronaut", in ricordo degli astronauti vittime di incidenti.

## Vivere nei tubi di lava

I canali sinuosi lunari hanno le stesse caratteristiche dei tubi di lava terrestri privi di tetto, ma mentre questi tendono a essere larghi soltanto pochi metri (o poche decine di metri), grazie alla gravità ridotta a un sesto, quelli lunari possono essere molto più grandi, raggiungendo in alcuni casi profondità di 300 m. Tra i solchi, quello di Hyginus è particolarmente lungo, ben riconoscibile e interessante per la sua forma angolata. La diversità tra i vari crepacci lunari pone ancora problemi non risolti: è il caso della Valle Schroeter nei dintorni di Aristarchus (una larga spaccatura sinuosa in mezzo alla quale corre un solco più esi-

▲ Il bacino Aitken si estende dal cratere Aitken al polo sud lunare, per lo più sul lato nascosto del nostro satellite. È riconoscibile per il colore scuro del basalto che ne copre il fondo. Con un diametro di 2500 km, è il più grande bacino conosciuto nel Sistema solare



▲ L'altopiano Descartes fu scelto come sito di allunaggio per la missione Apollo 16. Durante la missione, il pilota del modulo di comando, Ken Mattingly, ha sorvolato la zona diverse volte a una quota di 120 km: questa ripresa della sonda Lro corrisponde al panorama che vedeva dall'oblò. L'illuminazione è pressoché identica a quella del momento in cui il Lem Orion è sceso sulla Luna

le), o del sottile canale che serpeggia sul fondo della Valle delle Alpi. A proposito di Schroeter: fu lui, nel 1789, lo scopritore di questi crepacci, e si deve a lui anche la prima ingenua ipotesi sulla loro natura: ampie strade costruite dai seleniti. Oggi l'interesse per queste strutture lunari è diverso. Nei tubi di lava che non hanno subito collassi potrebbero trovare rifugio le prime colonie lunari: in attesa di edifici definitivi costruiti con la regolite, proteggerebbero gli astronauti da radiazioni e meteoriti assai meglio delle strutture gonfiabili che certi architetti spaziali stanno progettando. Tutto sommato, abitare nei tubi di lava non sarebbe che un ritorno alle caverne dell'uomo primitivo.

## Le "terre"

Le regioni più chiare e ad alta densità di crateri che Galileo chiamò "terre", in contrapposizione ai "mari", più scuri e lisci, costituiscono il 70% dell'emisfero rivolto verso di noi, e quasi la totalità della faccia invisibile. Sono regioni più elevate rispetto ai mari, e quindi si parla di "altipiani". In totale occupano l'85% della superficie lunare. L'addensarsi e sovrapporsi dei crateri consente una buona datazione relativa delle varie strutture. Il deterioramento dei crateri, la deformazione dei sistemi montuosi e del terreno, il serpeggiare di fratture e crepacci forniscono altre informazioni. Nonostante ciò, gli altipiani rimangono le regioni meno comprese dal punto di vista geologico. Rispetto ai "mari" la densità del materiale degli altipiani è minore: da 2,75 a 3 volte la densità dell'acqua, contro il 3,3-3,4. La crosta degli altipiani risulta così in equilibrio isostatico: la pressione esercitata dalla crosta lunare sul mantello sottostante è uguale dappertutto, sia sotto gli altipiani, più elevati ma meno pesanti, sia sotto i mari, più bassi ma con un peso specifico maggiore. Mentre i mari sono stati sconvolti da una fusione magmatica successiva, gli altipiani sono ciò che rimane della crosta primitiva, e quindi portano impressa tutta la storia del bombardamento meteoritico primordiale. ■

# FACCIA NASCOSTA PRIMATO CINESE

## IL 25 GIUGNO 2024 LA SONDA CHANG'E 6 CI HA PORTATO CAMPIONI GEOLOGICI RACCOLTI NELL'EMISFERO CHE NON VEDIAMO: È UNA "PRIMA" STORICA. IN QUELLA REGIONE FORSE C'È ACQUA GHIACCIATA E SI POTREBBERO INSTALLARE TELESCOPI E RADIOTELESCOPI ESENTI DAI DISTURBI TERRESTRI

◀ La prima foto inviata dalla sonda cinese Chang'e 4 in avvicinamento al suolo sul lato nascosto della Luna

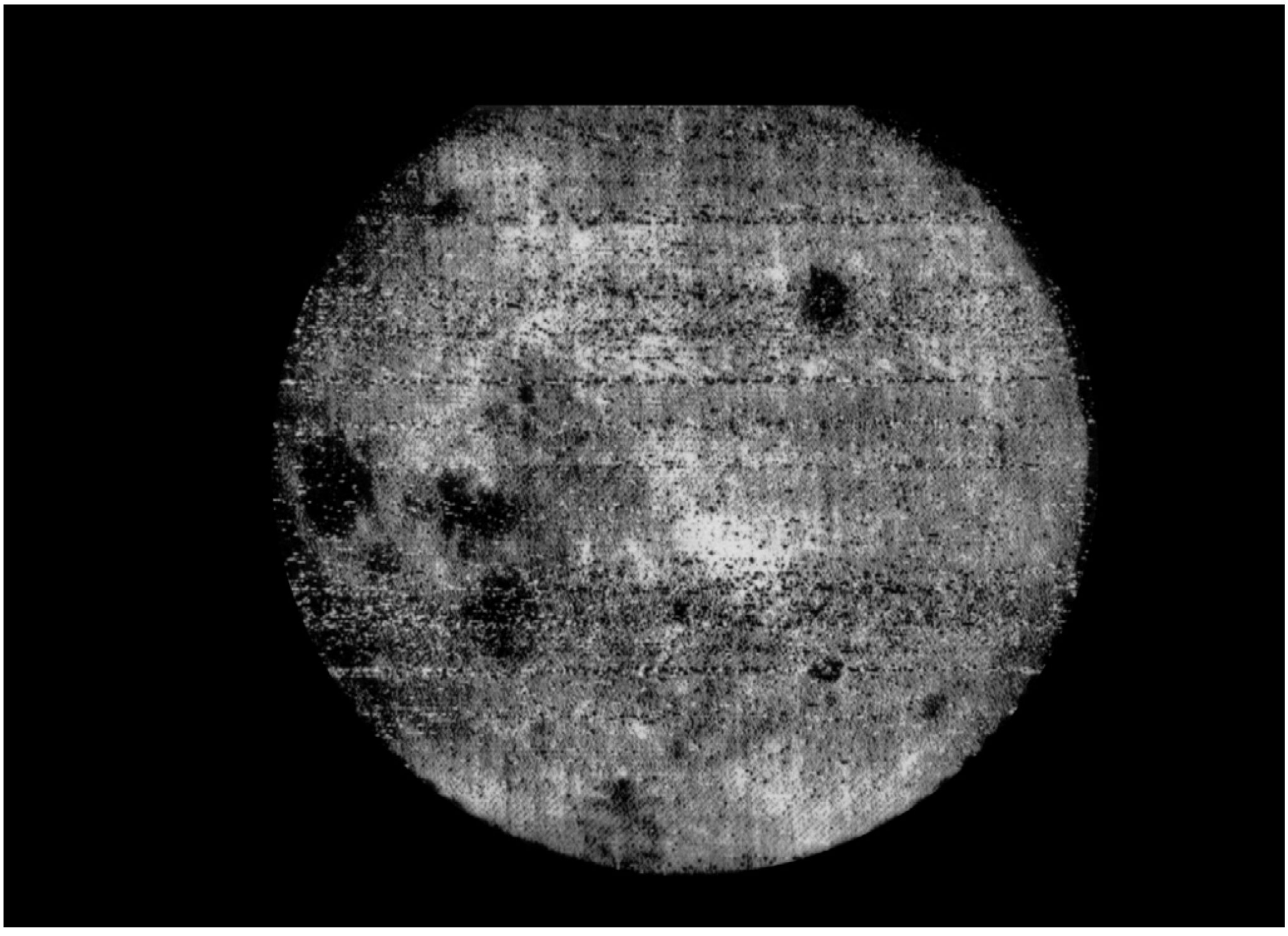
Sulla Luna si può ancora essere i primi anche arrivando ultimi, se si decide di esplorare l'emisfero invisibile dalla Terra. È la scelta che ha fatto la Cina. Alle 8,06 ora italiana del 25 giugno 2024 la missione Chang'e 6 ha recapitato campioni di rocce lunari raccolti nel cratere Apollo, che si trova vicino al polo sud nella regione di Aitken, il più grande bacino lunare da impatto e una delle formazioni geologiche più antiche, prodotta dall'impatto con un asteroide 3 miliardi e 800 milioni di anni fa.

È una "prima" assoluta, una pietra miliare nell'esplorazione del nostro satellite. Puntuale, oscillando appesa a due paracadute, la capsula è scesa in Mongolia, nella provincia di Siziwang Banner. La Cina aveva già compiuto un passo storico per l'esplorazione spaziale quando, il 3 gennaio 2019, Chang'e 4 diventò la prima sonda che sia atterrata sulla faccia invisibile dalla Terra. L'emisfero lunare invisibile dalla Terra interessa agli scienziati per i suoi aspetti geologici peculiari, ma ancora di più perché nelle regioni polari nascoste al nostro sguardo ci sono probabilmente giacimenti di acqua fossile portata dalle comete, e nei dintorni si potrebbero installare telescopi e radiotelescopi esenti dall'inquinamento luminoso e dai disturbi che limitano gli strumenti terrestri.

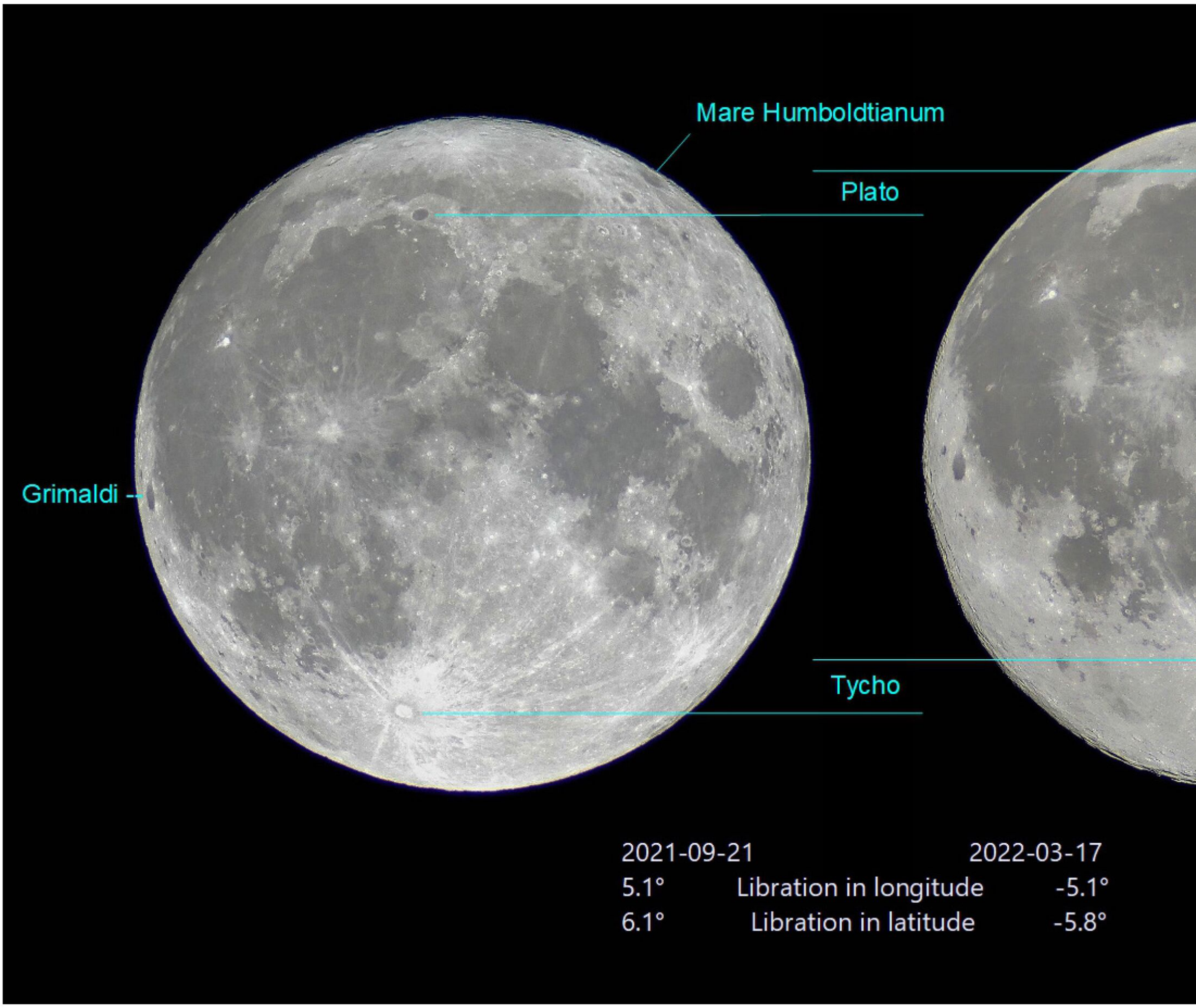
È bene chiarire le parole "emisfero invisibile dalla Terra" perché molti, inclusi giornali autorevoli e televisioni, parlano erroneamente di "lato oscuro" della Luna. Si tratta di un errore grave perché segnala la mancata comprensione dei moti della Luna e della Terra. La Luna non ha "facce" o "lati" oscuri. Semplicemente ruota su se stessa nello stesso tempo che impiega a completare la sua orbita intorno alla Terra: quindi noi vediamo sempre la stessa faccia, ma quella opposta riceve la luce del Sole per 14 giorni ogni periodo orbitale, esattamente come quella che vediamo. Corollario: come noi non possiamo vedere mai l'emisfero opposto della Luna, un ipotetico abitante di quell'emisfero non vedrebbe mai la Terra e, al limite, potrebbe ignorarne l'esistenza. Per essere più precisi, le librazioni lunari (piccole oscillazioni apparenti dovute al variare del nostro punto di vista) permettono di osservare circa il 9% dell'emisfero nascosto, e su queste osservazioni si basavano le nostre conoscenze fino alle immagini, assai confuse, trasmesse dalla sonda sovietica Luna 3 il 7 ottobre 1959.

Alfonso Fresa, già presidente dell'International Lunar Association, nell'ultima edizione del suo libro dedicato alla Luna (1952) scriveva: «Per quanto siano fallaci le ipotesi concernenti la faccia opposta della Luna, si può sempre conget- ▶

▼ La prima foto del lato nascosto della Luna, scattata dalla sonda sovietica Luna 3 nel 1959



NASA



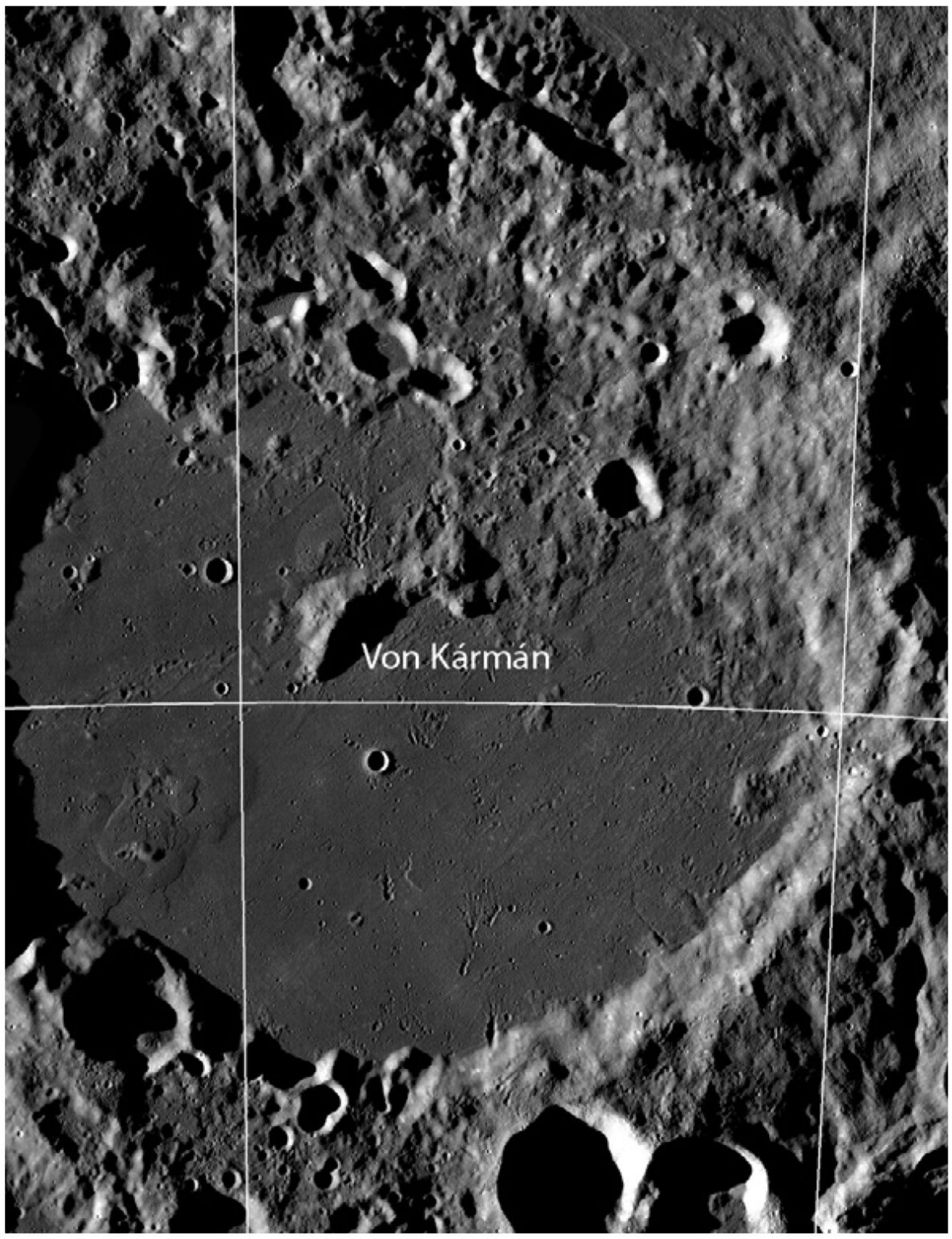

JÜRGEN KAHLHÖFER

▲ La Luna piena in condizioni diverse di librazioni (la scala delle foto è stata modificata per avere lo stesso diametro apparente). Con librazioni sfavorevoli, il Mare Humboldtianum diventa invisibile

turare che questa non debba essere sostanzialmente diversa da quella che da lungo tempo ci riflette i raggi del Sole. Basta dare uno sguardo alla carta della Luna per convincersi che i mari che si prospettano sui bordi del disco lunare continuino a estendersi nella parte invisibile [...]. Lo stesso ragionamento si può fare per i circhi, i crateri e i monti in generale, che abbondano fino ai bordi. Dunque, qualunque sia l'origine delle varie configurazioni selenografiche, si può presumere che nessuna diversità sostanziale si abbia tra i due emisferi; l'unica incognita consiste nella distribuzione di esse».

Previsioni in parte smentite dall'esplorazione spaziale. È vero, ci sono molti crateri anche sulla faccia nascosta della Luna, ma i mari sono quasi assenti. Le sole eccezioni sono il Mare Desiderii, che è in realtà un lembo del Mare Ingenii a cui si sovrappone qualche cratere, e il Mare Moscoviense, che ha un diametro di 420 km e una forma tondeggiante che lo rende più simile a un grande circo che ai mari della faccia nota. Anche le catene montuose soltanto in qualche caso sono il proseguimento di quelle che si intravedono presso il lembo, come nel caso dei Monti Rook e Cordillera, anelli montuosi concentrici di un grande bacino da impatto, il Mare Orientale. Catene come gli Altai, gli Appennini, le Alpi o i Carpazi non trovano corrispondenza in analoghe strutture sulla faccia nascosta, che nel suo insieme appare come un monotono altopiano uniformemente crivellato di crateri.

C'è anche una differenza chimica: gli elementi radioattivi (isotopi di potassio, torio e uranio) sono più abbondanti sull'emisfero rivolto verso di noi. E c'è un'asimmetria geofisica: il suolo è in media più depresso dal lato visibile e più elevato dal lato opposto. La faccia che vediamo si trova 1600 m al di sotto di un'immaginaria superficie sferica con il raggio della Luna (1738 km), men-




▲ Nel cratere Von Kármán, all'interno del bacino Polo Sud-Aitken, il 3 gennaio 2019 si è posata la sonda cinese Chang'e 4, prima missione a toccare il suolo lunare sul lato nascosto del nostro satellite. Esaminando i dati raccolti dalla sonda, un gruppo di ricerca internazionale, guidato dall'Università di Trieste, ha scoperto più di venti strutture legate a crateri ora sepolti e diverse stratificazioni nella regolite, che ha uno spessore variabile tra 5 e 15 m

tre la faccia nascosta è in media più elevata di altrettanto. Questo, fa osservare il geologo planetario John Wood, comporta che la crosta a bassa densità ricca di plagioclasi sia più spessa sul lato opposto alla Terra.

Perché le due facce della Luna sono in parte diverse? La risposta va cercata nella rotazione sincrona con il periodo di rivoluzione: cioè, risalendo alla causa prima, nelle maree che hanno frenato la rotazione della Luna intorno al suo asse, costringendo il satellite a rivolgerci sempre la stessa faccia. Durante la formazione del Sistema solare lo spazio era ingombro di planetesimi, i "mattoni" che hanno formato i pianeti. L'attrazione gravitazionale della Terra ha agito in modo tale da attirare sulla faccia visibile un flusso più intenso, e ciò ha provocato un assottigliamento della crosta e un riversamento di lave dall'interno, che si sono poi consolidate nei bacini. Al fenomeno ha contribuito anche quello che Wood chiama "l'effetto dell'estremità anteriore": come molti moscerini vanno a schiacciarsi sul parabrezza di un'auto in corsa, mentre pochi finiscono sul lunotto posteriore, così un maggior numero di planetesimi è andato a schiantarsi sulla faccia della Luna rivolta nella direzione del moto. Le lave riversatesi nei bacini dell'emisfero visibile hanno in parte cancellato i crateri antichi, sull'emisfero opposto invece i crateri si sono sempre aggiunti.

Come accennato, il lato segreto del nostro satellite fu svelato dalla sonda sovietica Luna 3. Nelle foto si vedeva quasi soltanto una macchia scura, poi chiamata Mare Moscoviense. Il 6 novembre 1960, l'Accademia delle Scienze Sovietica pubblicò il primo atlante della faccia nascosta. Perfezionarono il lavoro l'orbiter russo Luna 10 e soprattutto i Lunar Orbiter americani. La prima cartografia lunare completa è del 1994 ed è frutto dei 2 milioni di foto digitali trasmesse dalla sonda americana Clementine.

La toponomastica del "lato b", fissata dall'Unione Astronomica Internazionale, spazia dai padri della fantascienza (Verne e Wells) ai nomi di astronauti e scienziati prevalentemente russi, fatto giustificato dalla priorità di Mosca in questa esplorazione. Nel gennaio 2019 la Cina ha ▶

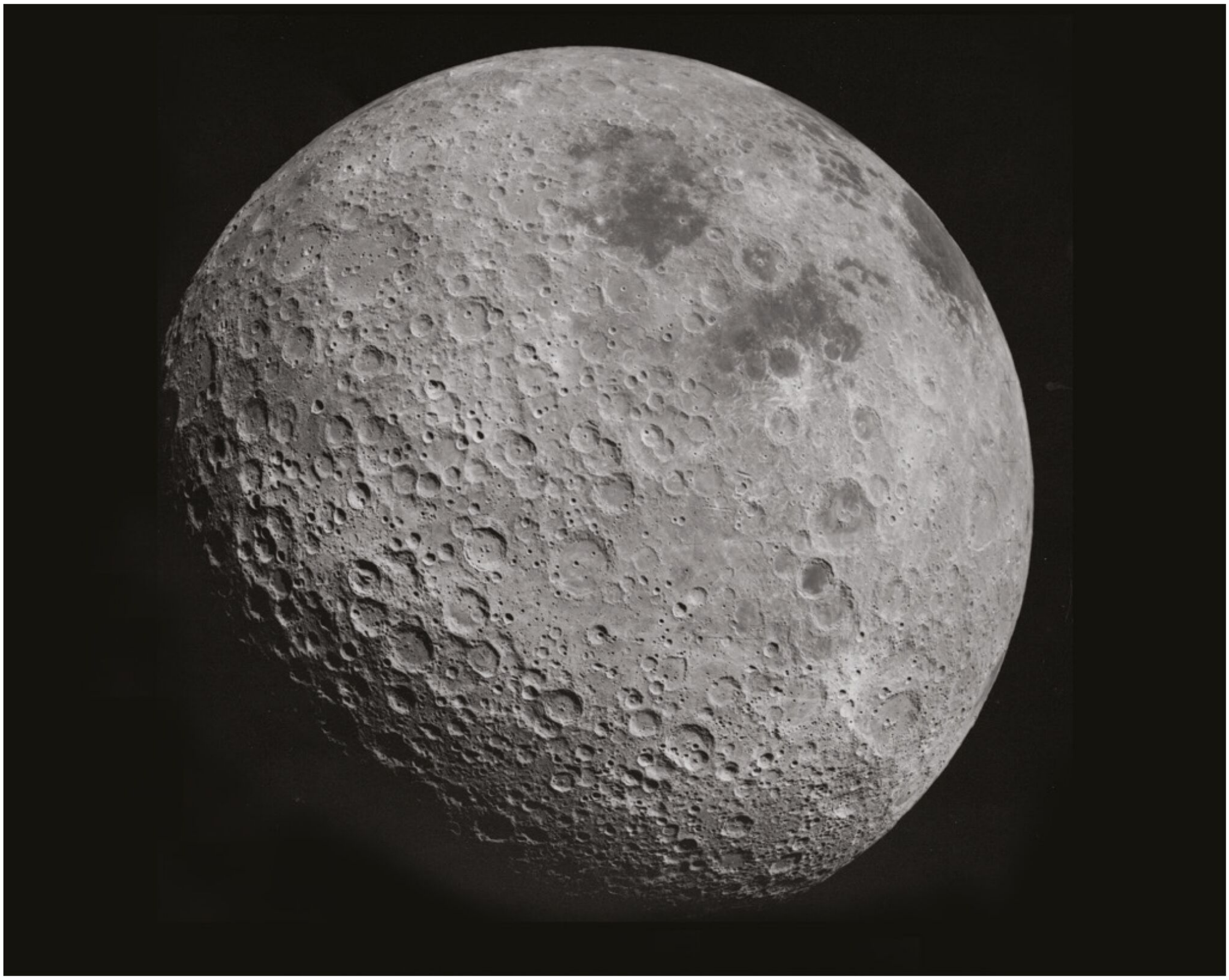
NASA

▲ Il lato nascosto della Luna non è “oscuro”: qui lo vediamo illuminato dal Sole con la Terra sullo sfondo in una ripresa della sonda Deep Space Climate Observatory (Dscovr) della Nasa

però conquistato il record del primo allunaggio morbido e del primo rover in esplorazione sulla faccia nascosta della Luna, precisamente nel cratere Von Karman.

Uno sguardo alle formazioni più notevoli. Al di là del lembo est, attraversato a metà dall’equatore, si incontra il Mare Smythii, che ha forma quasi perfettamente circolare: dalla Terra se ne scorge soltanto una sottile striscia, quando la librazione in longitudine è favorevole. I crateri maggiori nella regione a ridosso del lembo sono Fabry (210 km di diametro), Szilard (140 km), Pasteur e Lamb. Alla longitudine di 130°, 20° a sud dell’equatore, un bel cratere dalle pareti scoscese e scolpite, largo 198 km, è dedicato a Tsiolkovsky, il padre dell’astronautica russa. Ha una platea molto scura, costituita dallo stesso materiale delle piane marine, con un doppio picco decentrato. Fu tra i siti candidati alla discesa dell’Apollo 17: lo sbarco di astronauti sarebbe stato un modo esaltante di concludere la conquista della Luna. L’idea fu scartata per timore di un fallimento. Mezzo secolo dopo, ancora nessun uomo ha calpestato il suolo dell’emisfero invisibile e non succederà prima del 2030. Le uniche forme viventi le ha portate lassù la Cina, ma sono bachi da seta.

Alla longitudine di 140° spicca il circo di Mendeleev, largo quasi 300 km, simile a un piccolo mare, con molti crateri più recenti nella platea. A sud di Mendeleev il cratere maggiore (240 km) è quello dedicato all’astronauta sovietico Gagarin (primo uomo dello spazio, perito poi in un banale incidente aereo il 27 marzo 1968); più a sud incontriamo Pavlov (in ricordo dello scienziato russo che studiò i riflessi condizionati), un cratere largo 130 km, e Jules Verne, che ha all’incirca le stesse dimensioni. Ancora più a sud sorge Koch e sotto ancora Crocco, cratere largo una cinquantina di chilometri che immortala un pioniere dell’astronautica italiana. Il Mare Moscoviense è una caratteristica forma-



NASA

▲ La faccia nascosta della Luna ripresa da Apollo 16 nell'aprile 1972

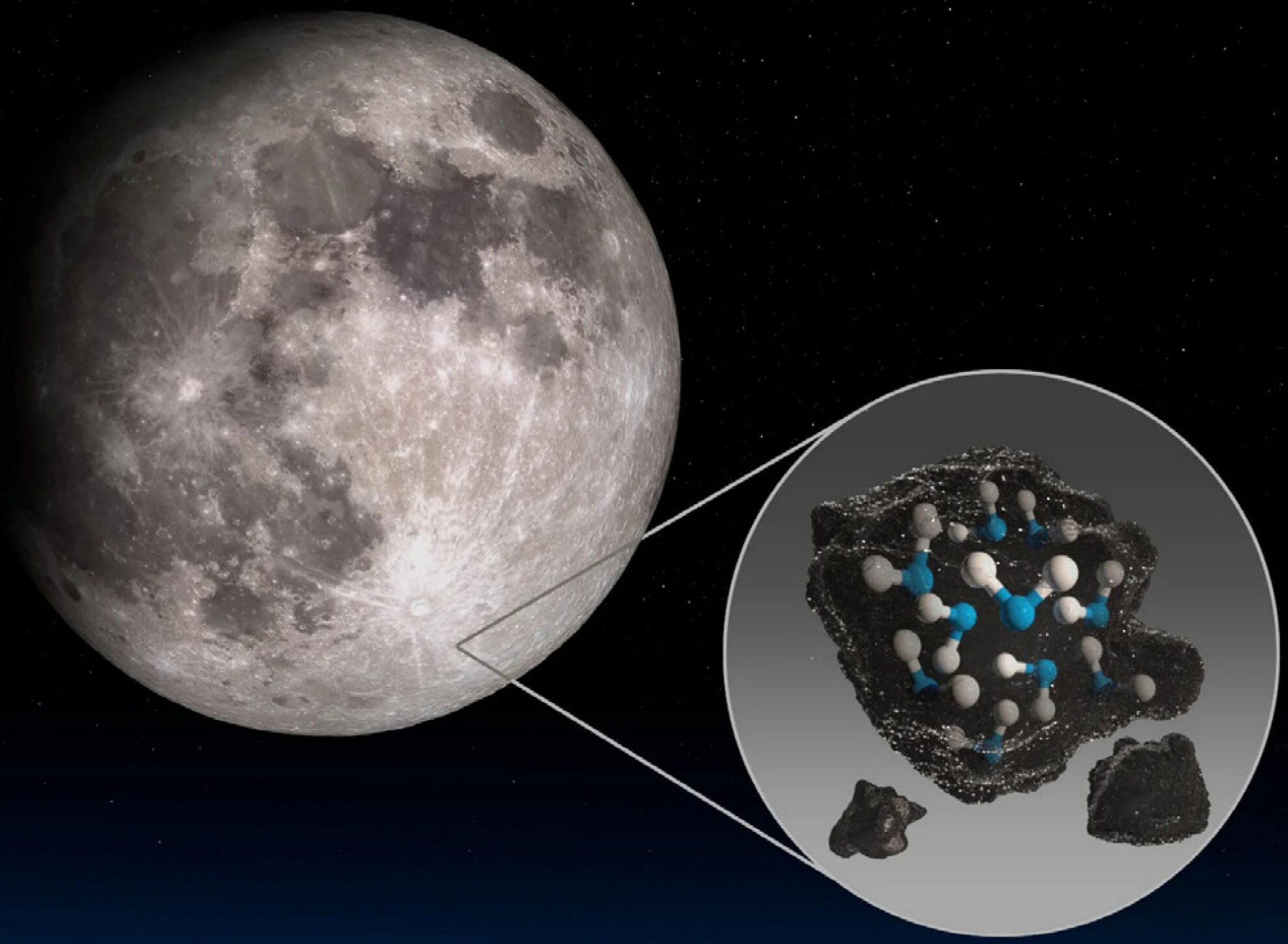
zione a doppio anello montuoso come il Mare Orientale. Questa struttura è tipica della faccia nascosta della Luna: simili sono anche le formazioni chiamate Apollo, Korolev e Hertzsprung. Nel Mare Moscoviense e nei suoi dintorni troviamo molti crateri minori dedicati ad astronauti sovietici, e in particolare Titov e Komarov. A nord c'è il grande circo di Campbell (260 km). Alla latitudine di 35° sud e alla longitudine di 165° si incontra un altro piccolo mare della faccia nascosta: il Mare Ingenii, la cui piana tondeggiante, larga 350 km, è occupata dall'antico circo dedicato a Thomson (100 km). La sponda est del Mare Ingenii è intaccata dallo strano cratere doppio Van de Graaff, mentre sul meridiano centrale della faccia invisibile, intorno ai 40° di latitudine sud campeggiano i vasti circhi di Leibnitz e di Von Karman. Van de Graaff è una struttura unica nel suo genere: profondo 4 km, è al centro di un'anomalia magnetica e di un'area insolitamente radioattiva.

Nell'altra metà della faccia nascosta della Luna sono quattro le formazioni che attirano subito lo sguardo, tutte simili nella struttura. La maggiore, già ricordata, è il Mare Orientale, con i suoi vari anelli montuosi concentrici e un diametro di 900 km, paragonabile a quello del bacino Imbrium. Al secondo posto per dimensioni si colloca la formazione Apollo, larga 520 km. Qui gli anelli montuosi sono soltanto due, al centro c'è una piccola platea molto scura e tutt'intorno sono inscritti vari crateri, di medie dimensioni: Barringer (60 km), Dryden (50 km), Chaffee (60 km), Lovell (30 km).

Al terzo posto per diametro si piazza la formazione Hertzsprung, larga 440 km, con doppio anello montuoso. Nelle sue vicinanze spicca il cratere dedicato al fisico Michelson, largo 130 km. Infine abbiamo la formazione Korolev, con un diametro di 360 km, anch'essa con doppia cerchia di monti, nella quale si inscrivono i crateri Krylov (50 km) e Doppler (90 km). Tra i maggiori crateri di questo settore lunare vanno segnalati Landau, Fowler (140 km), Tsander (140 km), Woltjer (130 km) e Mendel. Crateri ancora più imponenti si trovano nelle regioni polari: a nord, Birkoff raggiunge i 370 km di diametro; a sud Planck misura 340 km, Schrodinger 310. A entrambi sono associati profondi crepacci lunghi circa 400 km. ■

# BERREMO L'ACQUA DI ANTICHE COMETE

GLI ASTRONAUTI-COLONI ATTINGERANNO AI GHIACCI ACCUMULATI SUL FONDO DEI CRATERI, COME CABEUS E SHAKLETON, DOVE NON ARRIVA MAI LA LUCE DEL SOLE MENTRE LE LORO VETTE SONO SEMPRE ILLUMINATE. LE STIME PIÙ PRUDENTI PARLANO DI MILIONI DI TONNELLATE DI ACQUA, LE PIÙ OTTIMISTICHE DI MILIARDI



◀ Nel 2020 la Nasa ha annunciato la scoperta di acqua sulla faccia della Luna illuminata dal sole. I dati dello Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy (Sofia), un telescopio montato su un Boeing 747 in volo a 12 km di quota, hanno rivelato che nel cratere Clavius – uno dei più grandi, visibile dalla Terra, nell'emisfero sud lunare – si trova acqua in concentrazioni pari a circa 35 cl per metro cubo di suolo

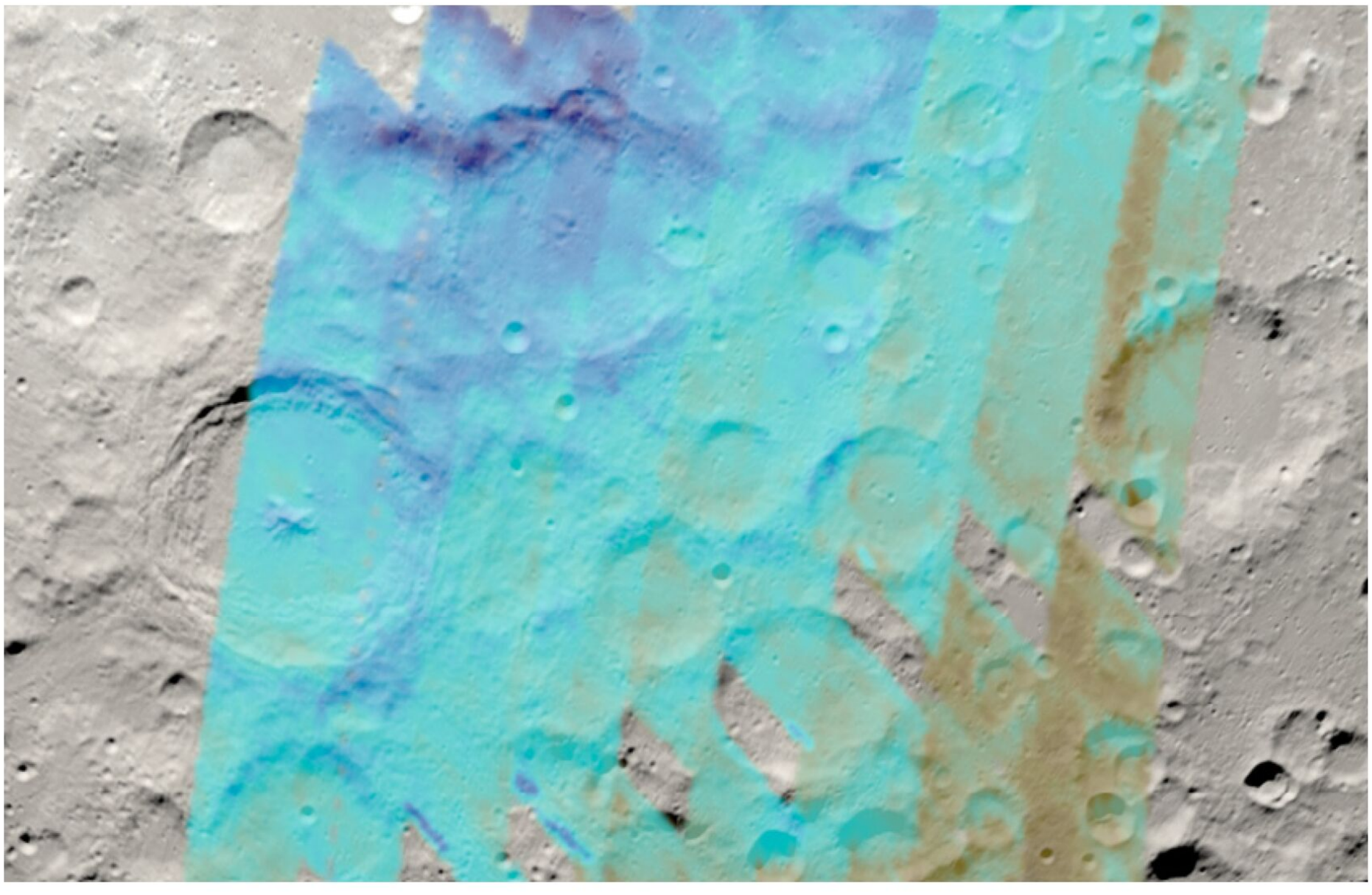
Rifornirsi di acqua sarà un'esigenza primaria per i futuri coloni lunari, perché portarla dalla Terra avrebbe costi insostenibili: diciamo quasi 100.000 euro al litro. Per fortuna, le sonde Lunar Prospector e Lunar Reconnaissance Orbiter hanno indicato l'esistenza di ghiaccio sul fondo dei crateri intorno ai poli lunari mai illuminati dal Sole. Non è ghiaccio a "chilometro zero". L'hanno accumulato in miliardi di anni le comete arrivate dalla periferia del Sistema solare, casualmente cadute dentro crateri del nostro satellite, in particolare vicino al polo sud. E non sarà acqua subito potabile: la polvere di regolite che probabilmente contiene è fortemente tossica e, in ogni caso, il ghiaccio delle comete è simile al fango, l'acqua è mescolata con silicati (sabbia), polvere contenente carbonio e metalli, molecole organiche.

È stato l'astronomo Fred Whipple (1906-2004) a descrivere, negli anni Cinquanta, il modello fisico e geologico delle comete, che poi è stato confermato dalle missioni spaziali, in particolare dalla sonda europea Giotto, che sfiorò la cometa di Halley nel 1986, e dalla sonda Rosetta, anch'essa europea, che il 30 settembre 2016 fece scendere un lander sulla cometa Churyumov-Gerasimenko, dopo averla inseguita lungo la sua orbita.

Secondo i dati raccolti, il ghiaccio di acqua costituisce circa la metà delle masse cometarie, insieme con ghiacci di altri composti volatili come anidride carbonica, monossido di carbonio, metano e ammoniaca. La massa delle comete è molto varia: tipicamente è paragonabile a quella di una media montagna terrestre con un diametro di una decina di chilometri (la Halley è risultata oblunga con una lunghezza di 15 km, mentre la Churymov-Grasimenko è più piccola, circa 5 km, con due lobi congiunti da una strozzatura). I nuclei delle comete più grandi raggiungono i 40-50 km.

Al polo sud lunare hanno attratto l'attenzione delle agenzie spaziali i "Picchi dell'eterna luce" che si trovano nei pressi del cratere Shakleton. Grazie alla piccola inclinazione dell'asse di rotazione della Luna (che è di circa 1,5°), alcune aree di queste alture rimangono illuminate dai raggi solari radenti per la maggior parte del tempo, con solo brevi periodi di oscurità. Di contro, le zone sottostanti sono perennemente al buio. Questa situazione ha un forte interesse scientifico e pratico. Le zone sempre illuminate possono fornire energia fotovoltaica senza interruzione, quelle al buio hanno conservato depositi di ghiaccio e sono luoghi ideali per installare osservatori astronomici esenti da inquinamento luminoso ed elettromagnetico. Il cratere Shackleton ha un diametro di circa 21 km, e il suo contorno montuoso ha alcuni punti esposti alla luce solare per quasi tutto l'anno, con brevi periodi di buio ai solstizi.

Le stime sulla quantità di acqua ghiacciata al polo sud lunare variano in base ai modelli e ai dati raccolti da diverse missioni spaziali. Lunar Prospector (1998) fu la prima missione a suggerire, sia pure indirettamente, la presenza di acqua ghiacciata al polo sud della Luna: i rilievi basati su misurazioni dei neutroni hanno indicato la possibilità di depositi di idrogeno, componente, insieme con l'ossigeno, dell'acqua ghiacciata. ▶



NASA'S GODDARD SPACE FLIGHT CENTER SCIENTIFIC VISUALIZATION STUDIO/ERNIE WRIGHT

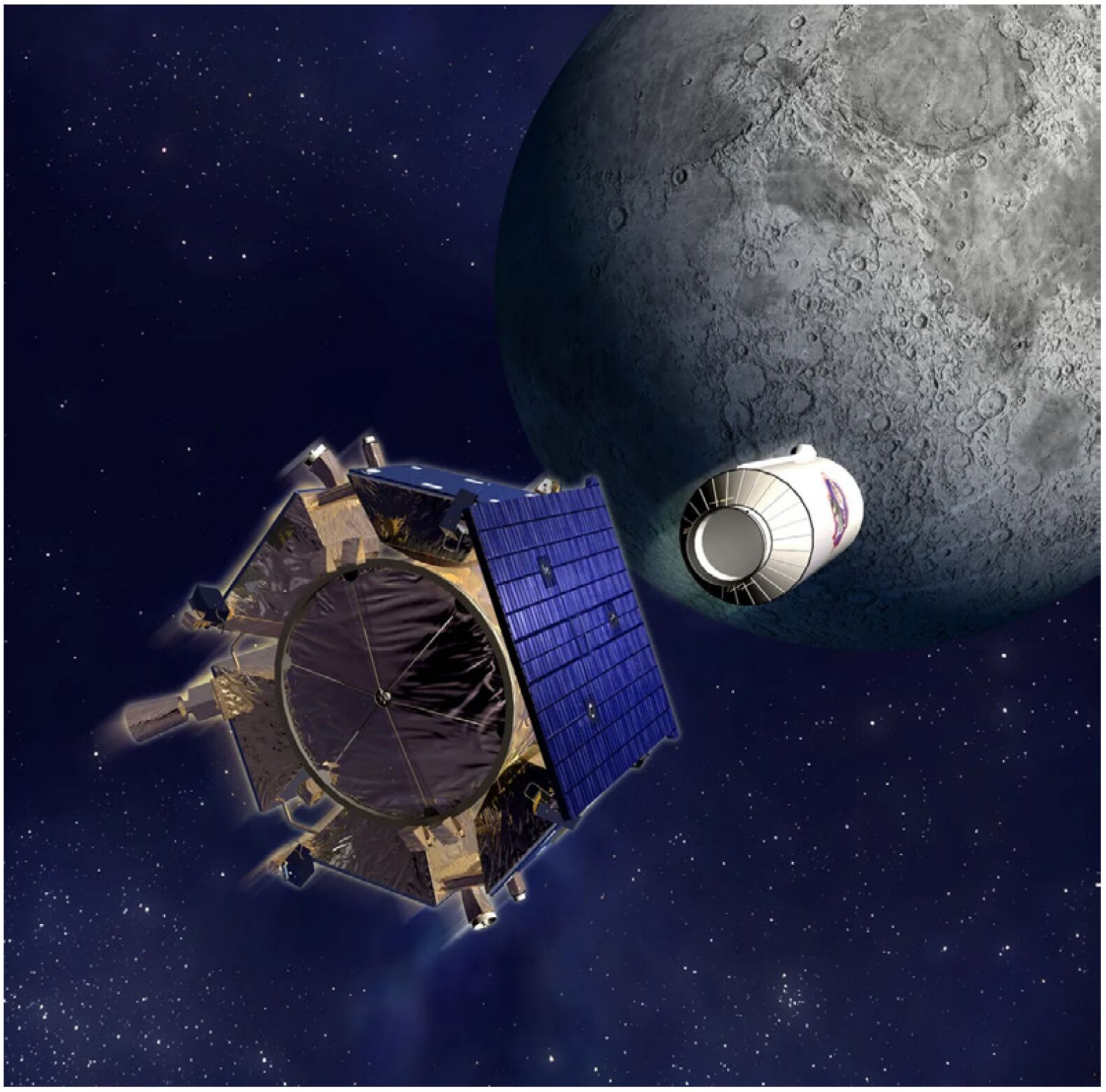
▶ Un studio del 2023, condotto con i dati della missione Sofia, ha permesso di costruire la prima mappa dettagliata della distribuzione di acqua sulla faccia illuminata della Luna. La mappa copre circa un quarto della superficie, a partire dai 60° di latitudine per arrivare al polo sud lunare. Nell'immagine, la "firma luminosa" dell'acqua sovrapposta a una visualizzazione della Luna come appariva al momento delle osservazioni a febbraio 2022. Il blu scuro indica una maggiore concentrazione

ANSA/DANIEL RUTTER

Il Lunar Reconnaissence Orbiter, che rimarrà in funzione fino al 2026, ha mappato la superficie lunare ad altissima definizione e il suo strumento Lcross ha confermato la presenza di ghiaccio nel cratere Cabeus, vicino al polo sud. Lcross ha rilevato circa il 5,6% di contenuto d'acqua nel materiale espulso durante l'impatto programmato. Le stime più prudenti dicono che potrebbero esserci centinaia di milioni di tonnellate di ghiaccio d'acqua distribuite in diversi crateri permanentemente in ombra. Alcuni studi basati su modelli termici e dati radar fanno pensare che la quantità totale di acqua ghiacciata potrebbe superare il miliardo di tonnellate. Questo ghiaccio potrebbe trovarsi mescolato con regolite lunare in una concentrazione variabile tra l'1% e il 10%. La presenza di queste risorse idriche è cruciale, in quanto potrebbe essere utilizzata per bere, coltivare cibo e generare ossigeno. Scomposta in idrogeno e ossigeno, l'acqua fornirebbe la materia prima del propellente dei razzi.
La notizia più recente (6 agosto 2024) è che scienziati cinesi hanno trovato molecole di acqua in un campione di roccia lunare riportato dalla missione Chang'e 5. Sebbene i campioni delle missioni Apollo degli Stati Uniti sembrassero mostrare che la Luna era del tutto arida, un altro studio recente ha scoperto che l'acqua o l'idrossile potrebbero essere intrappolati in perle di vetro sulla superficie della Luna e che i venti solari potrebbero trasformare l'idrossile (formula chimica OH) in $H_2O$. ■

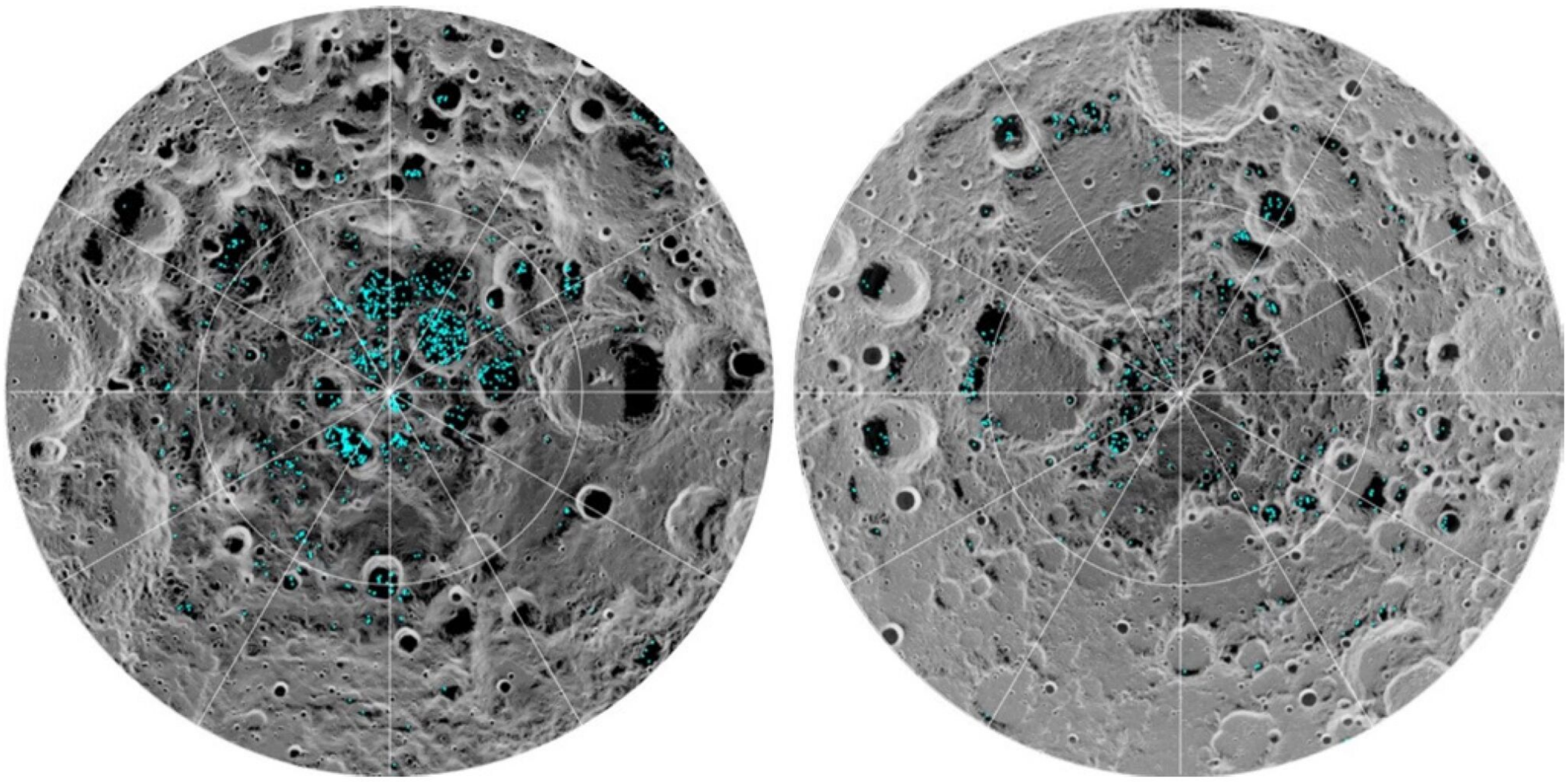
ESA/ROSETTA/NAVCAM

◀ La cometa 67P/Churyumov-Gerasimenko ripresa dalla sonda Rosetta il 25 marzo 2015, da una distanza di 86,6 km. Il ghiaccio di acqua costituisce circa la metà delle masse cometarie, insieme con ghiacci di altri composti volatili come anidride carbonica, monossido di carbonio, metano e ammoniaca

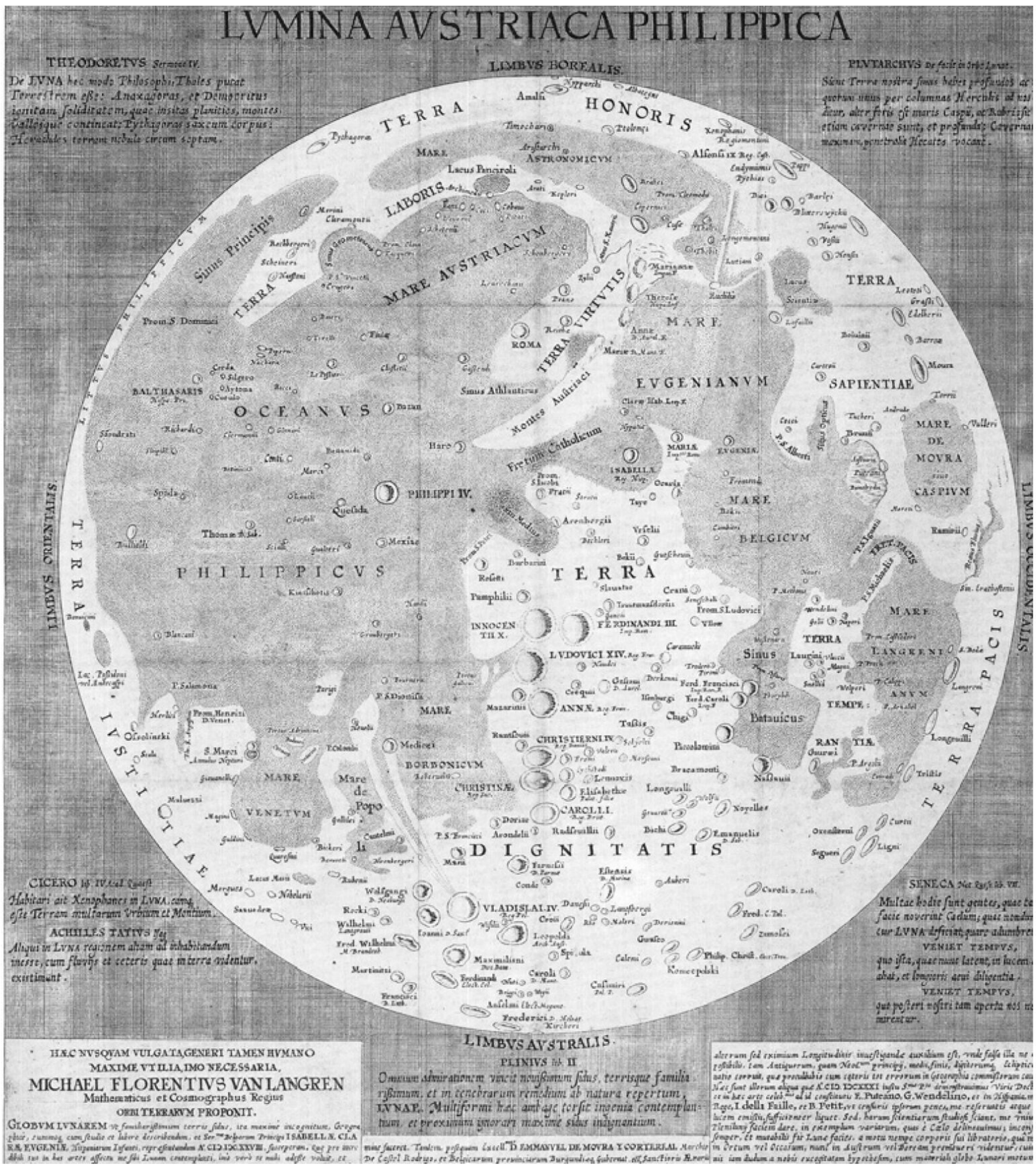


NASA

▶ Il 22 ottobre 2009, la sonda Nasa Lcross (Lunar Crater Observation and Sensing Satellite) ha lanciato un proiettile – lo stadio superiore di un razzo Atlas V – nel cratere Cabeus, in prossimità del polo sud lunare, per poi attraversare e analizzare il getto di detriti sollevato dall'impatto prima di schiantarsi a sua volta. Un'altra sonda, Lro (Lunar Reconnaissance Orbiter), era programmata per raggiungere la verticale dell'impatto poco dopo. La scena veniva osservata contemporaneamente anche da diversi osservatori a Terra e dal telescopio spaziale Hubble. Le diverse analisi hanno confermato la presenza di ghiaccio d'acqua sul fondo del cratere



NASA



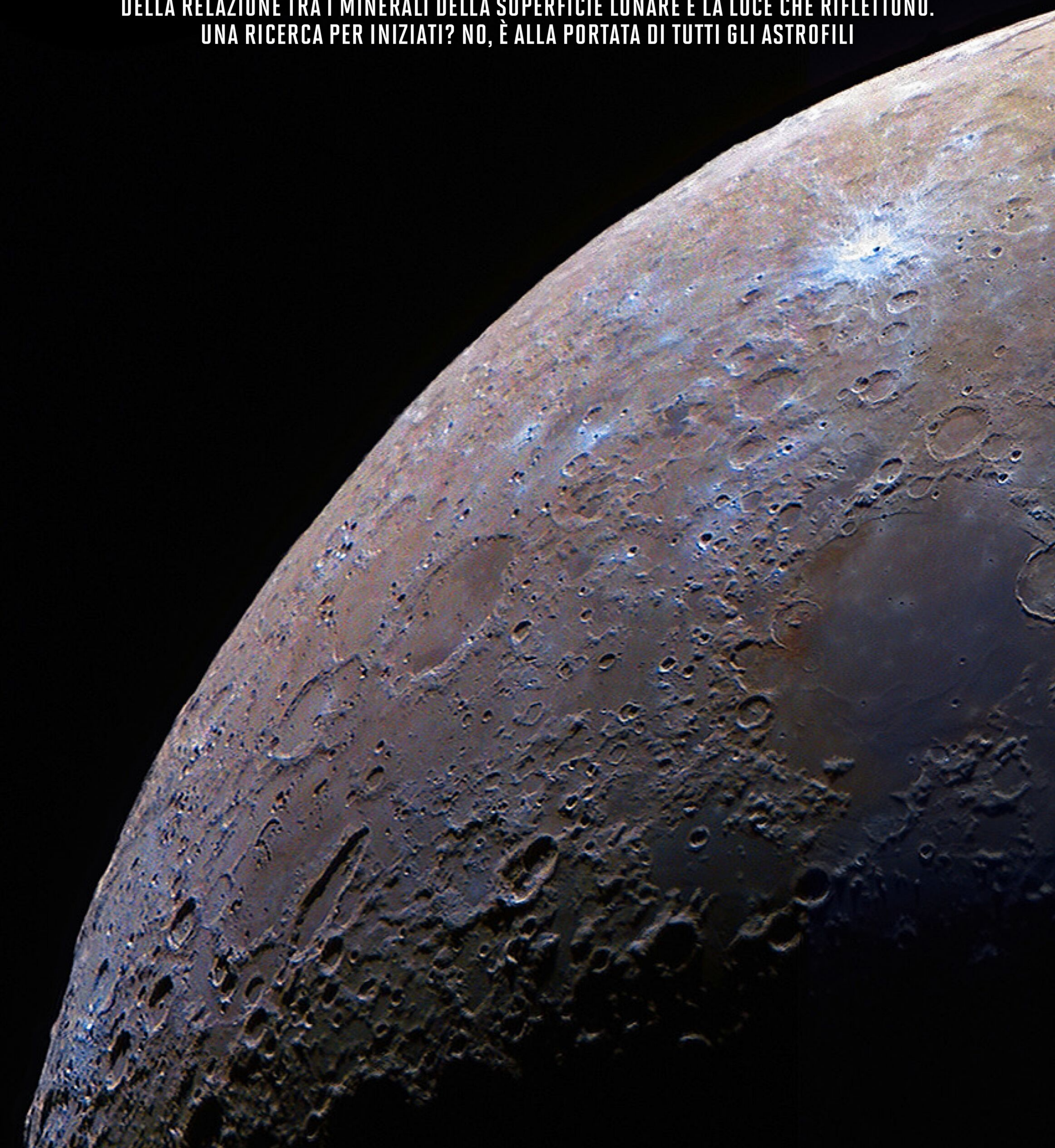

CREATIVE COMMONS

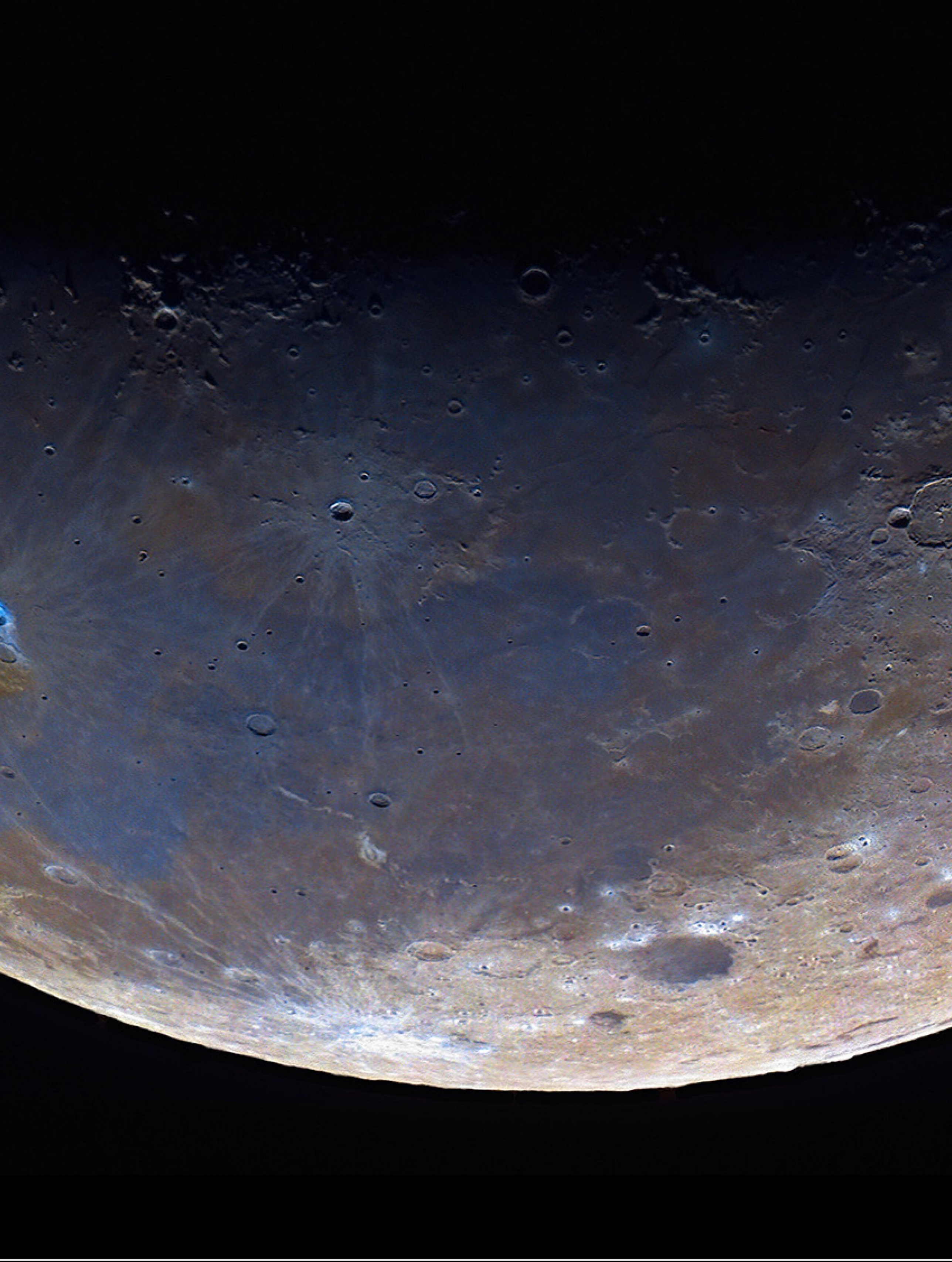
▲ Distribuzione del ghiaccio superficiale al polo sud (sinistra) e al polo nord (destra) della Luna, rilevata dallo strumento Moon Mineralogy Mapper della Nasa, nel 2018. Il blu indica la posizione del ghiaccio, la scala di grigio corrisponde alla temperatura della superficie (le tonalità più scure rappresentano le aree più fredde e quelle più chiare le zone calde). Il ghiaccio si concentra nei punti più scuri e freddi, all'ombra dei crateri

◀ Gli astronomi che per primi osservarono la Luna al telescopio furono colpiti dalle grandi macchie scure sulla superficie. Nel 1645, l'olandese Michael van Langren pubblicò la prima mappa della Luna di cui si abbia notizia, indicando le macchie come "maria" – "mari" – e sancendo l'opinione ampiamente diffusa che i segni fossero oceani sulla superficie lunare. Oggi sappiamo che sono pianure di basalto create dalle prime eruzioni vulcaniche, ma la nomenclatura è rimasta invariata

# LA LUNA PARLA A COLORI

QUESTE IMMAGINI STRAORDINARIE VI MOSTRANO IL NOSTRO SATELLITE COME NON LO AVETE MAI VISTO: SONO STATE OTTENUTE CON TECNICHE DI SELENOCROMATICA, L'AFFASCINANTE STUDIO DELLA RELAZIONE TRA I MINERALI DELLA SUPERFICIE LUNARE E LA LUCE CHE RIFLETTONO. UNA RICERCA PER INIZIATI? NO, È ALLA PORTATA DI TUTTI GLI ASTROFILI

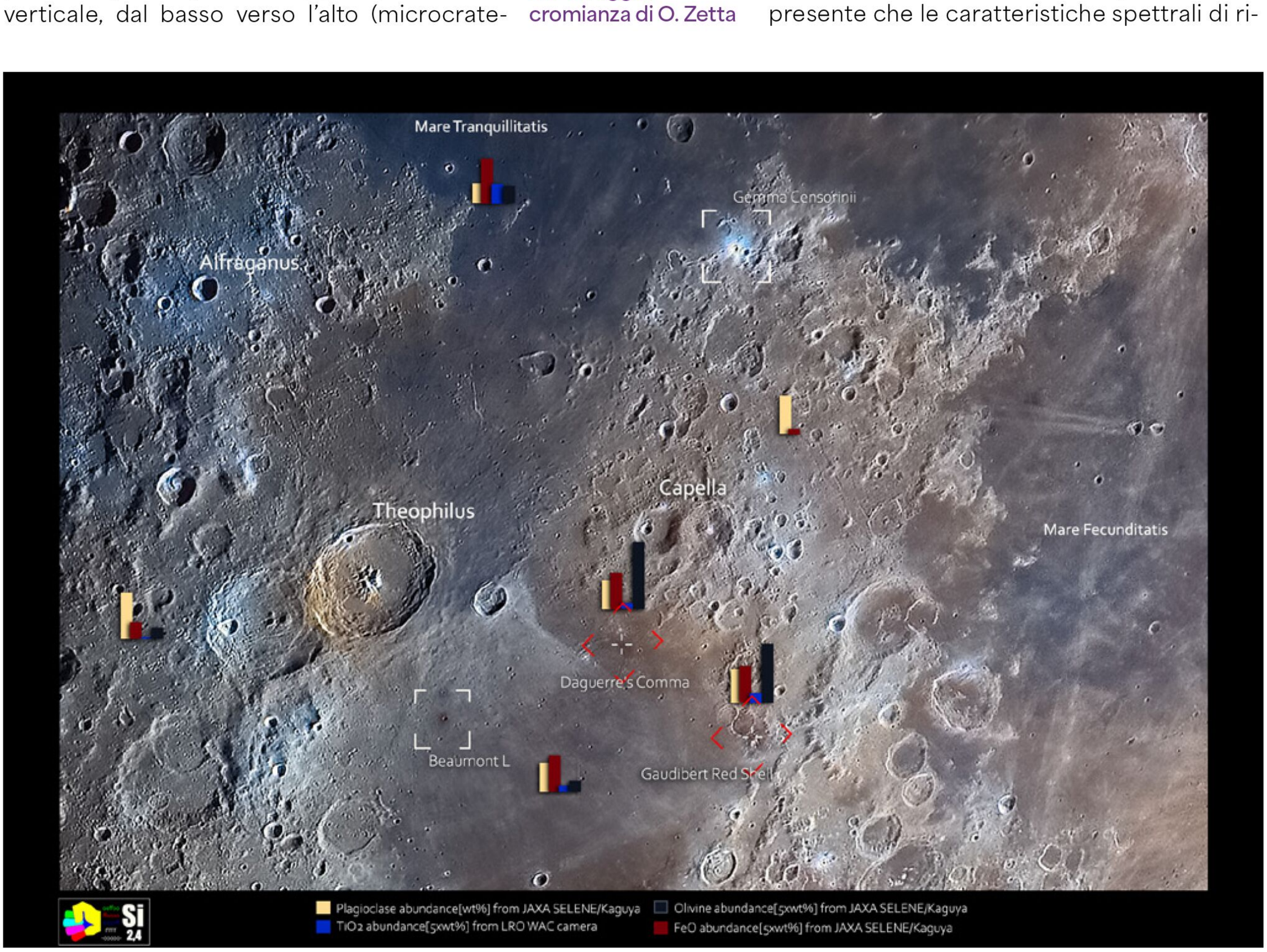




Dalla Terra appare bianca e grigia, eppure ogni suo sasso ha uno specifico colore. Priva di atmosfera, la Luna da miliardi di anni subisce impatti di meteoriti più o meno grandi. Questo bombardamento ha profondamente modificato l'aspetto della sua crosta. Frammenti d'impatto di varia grandezza, anche grazie a una gravità sei volte inferiore a quella terrestre, hanno ricoperto la sua intera superficie: è lo strato di breccia lunare, di colore neutro, spesso alcuni metri, prodotto dalla frammentazione e dal rimescolamento superficiale. Ma è possibile esaltare i contrasti, tanto da rendere visibili i colori dei minerali prevalenti in una data zona senza creare artefatti. Si chiama "selenocromatica" la tecnica di *remote sensing* amatoriale, che studia la relazione nel tempo tra i colori della crosta lunare e i minerali di cui è costituita.

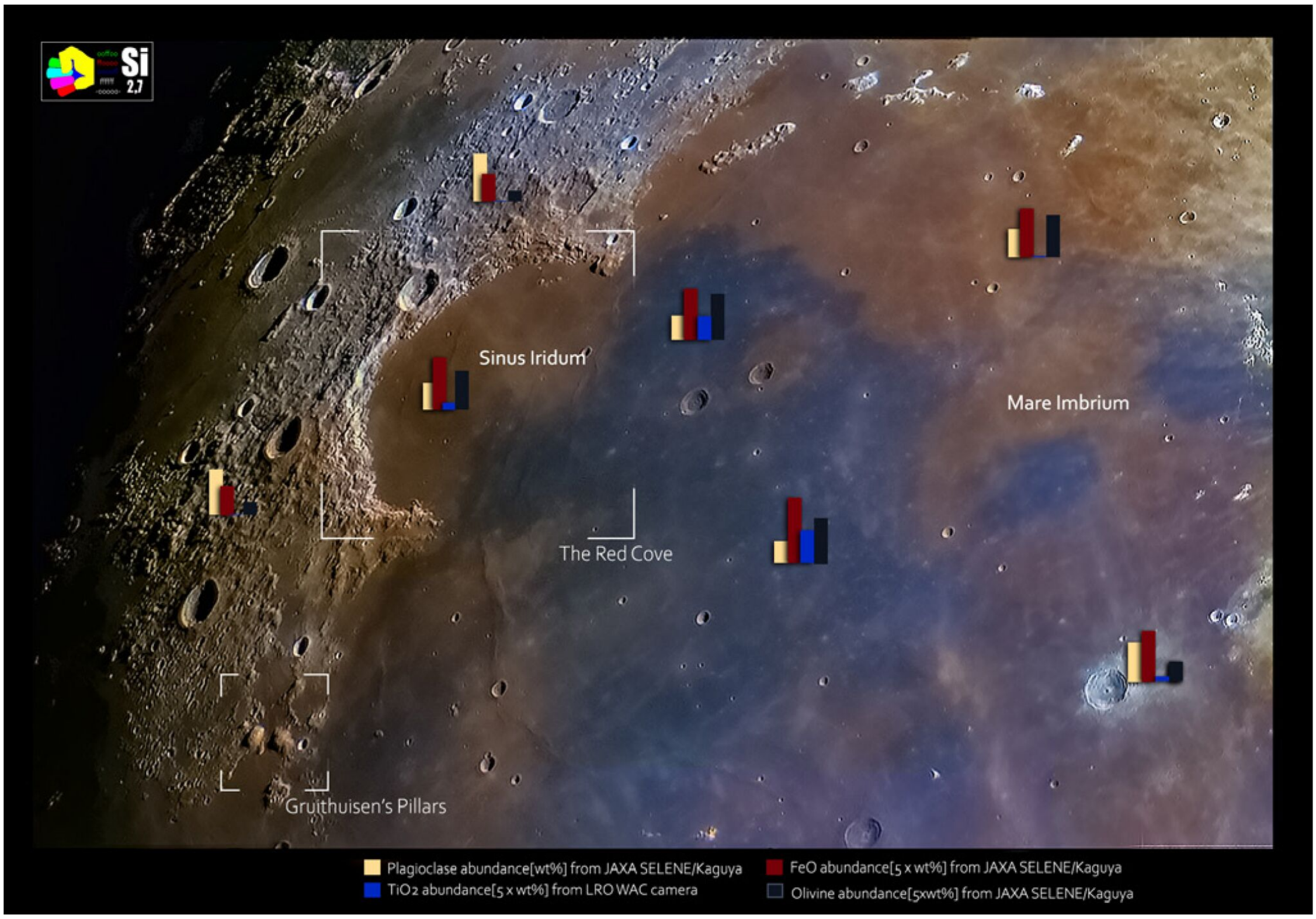
In selenocromatica si usano specifiche tecniche di acquisizione – L(DVF) + C(IRcut) – e metodiche di Esaltazione Cromatica Controllata – CCE – standardizzate. Grazie a questo rigore in selenocromatica si è in grado di associare minerali e colori, di analizzare colori complessi derivati ad esempio dal *mixing* orizzontale di materiali che si rimescolano per contiguità (*ejecta* e raggiere), ma anche verticale, dal basso verso l'alto (microcratterizzazione con esposizione superficiale di materiali profondi di diverso cromatismo). Questo studio, che sfrutta l'esperienza della sottrazione cromatica (l'esempio più tipico è la generazione per miscelazione dei colori della pittura a olio, partendo dai colori primari) permette di approdare a una conoscenza stratigrafica della crosta lunare. E poiché parlare di strati corrisponde a parlare di tempo, la selenocromatica permette anche lo studio della cronologia lunare. Ma sospendiamo per ora l'approfondimento della straticromatica lunare per ritornare al rapporto colore-minerali, ricordando come la composizione delle rocce non sia l'unico fattore a determinare il colore lunare. L'incidenza della luce solare unita alla curvatura della sua superficie genera infatti distorsioni cromatiche, non solo nelle zone scure e nelle aree fortemente riflettenti ma anche nei pressi del terminatore e dell'orizzonte per schiacciamento prospettico. La cosiddetta "maturazione del suolo lunare", poi, deriva dalla continua esposizione della crosta agli impatti, al vento solare e all'ambiente riducente, tre fattori che conferiscono al suolo un colore più scuro. Ai fini della riproducibilità dei risultati delle nostre tecniche, dobbiamo quindi tenere presente che le caratteristiche spettrali di ri-

▼ FOTO 1: "Si" nei pressi di Mare Nectaris con alcuni reperi selenocromatici; i grafici minerali dei reperi Gaudibert Red Shell e Daguerre's Comma si riferiscono ai depositi piroclastici al centro dei "target" rossi. I valori di FeO, TiO2 e Olivina sono stati aumentati cinque volte per renderli maggiormente apprezzabili. Luminanza ed elaborazione dati di A. Ferruggia, cromianza di O. Zetta



flettanza degli stessi minerali lunari purtroppo non sono costanti: così non ci si dovrà aspettare una resa cromatica univoca per un dato minerale/roccia/area, ma una "serie" di probabili colori in base all'incidenza della luce solare e allo *space weathering*.
Prima di passare ad analizzare la distribuzione dei colori sulla crosta lunare, facciamo notare che tutte le immagini di questo articolo sono ottenute con telescopi di 20 cm di diametro dello specchio primario, a dimostrazione della praticabilità delle tecniche selenocromatiche da parte dell'astrofilo medio. È utile suddividere i colori dei più comuni minerali lunari in base alla loro topografia. Il colore delle terre lunari (o *highlands*) è un colore chiaro e neutro, vicino all'ocra della roccia più comune delle pianure chiare, delle montagne, dei massicci e degli altopiani. Si tratta dell'anortosite ferrosa (FAN), che ha tra le sue caratteristiche quella di essere piena di plagioclasio ricco di calcio. Il colore può virare al rosa, al grigio o all'arancione in caso di contaminazione dal basso (craterizzazione che riporta in superficie minerali colorati situati più in profondità), o a distanza (sovrapposizione di frammenti da impatto).
I mari (o *maria*) sono le aree più piatte e più scure della Luna, in quanto i basalti di cui sono costituiti sono ricchi di olivina e soprattutto di ilmenite ($FeTiO_3$). La grande variabilità di concentrazione del titanio nei basalti (dal 13 allo 0,5%) produce sfumature che vanno dal blu al rosso. Il contenuto di olivina di un'area influenza il suo inscurimento.
Saranno quindi l'ilmenite ricca di titanio (sfumature viola, blu, verde) o di ferro (marrone, rosso, arancione) a creare la gran parte dei contrasti cromatici della crosta lunare, comportandosi invece anortosite e olivina come agenti di chiaro/scuro. Alcune formazioni geo-cromatiche lunari sono tanto particolari da essere state riunite in un apposito atlante (*Atlante Selenocromatico* del Gawh), strumento che serve anche a calcolare lo score di affidabilità dei cromatismi delle immagini selenocromatiche (Si).
Tali formazioni, individuate come "reperi" nell'*Atlante*, spesso sono individuate con nomi fantasiosi. Gli Azure Haloed Craters (Ahc) o Azure Spots, sono "macchie celesti" (talora verde acqua) in aree delle *highlands*. Quasi sempre associate a elevata albedo (riflettività), derivano quasi tutte da aloni e raggiere d'impatto di giovani crateri, come l'alone azzurro intorno ad Alfraganus (Alfraganus Azure Crater, foto 1).
Le alte temperature dell'impatto hanno generato i cristalli azzurri tipici di queste raggie- ▶

▼ FOTO 2: immagine selenocromatica di parte di Mare Imbrium con alcuni reperi selenocromatici (quadrati); nei grafici dei minerali i valori di FeO, $TiO_2$ e olivina sono stati aumentati cinque volte per renderli maggiormente apprezzabili. Immagine ed elaborazione dati di A. Ferruggia



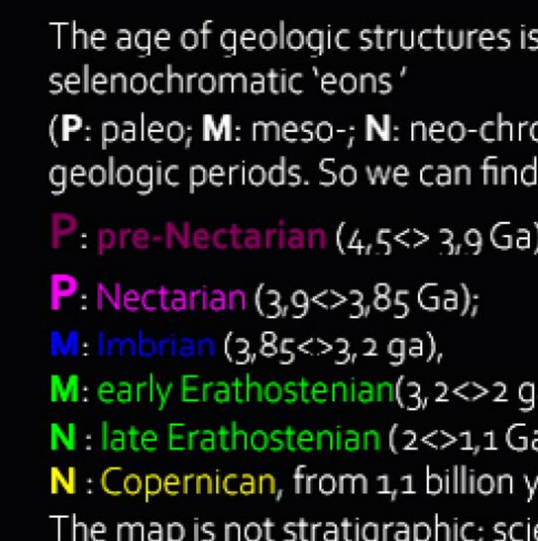
# Chrono-chromatic Map

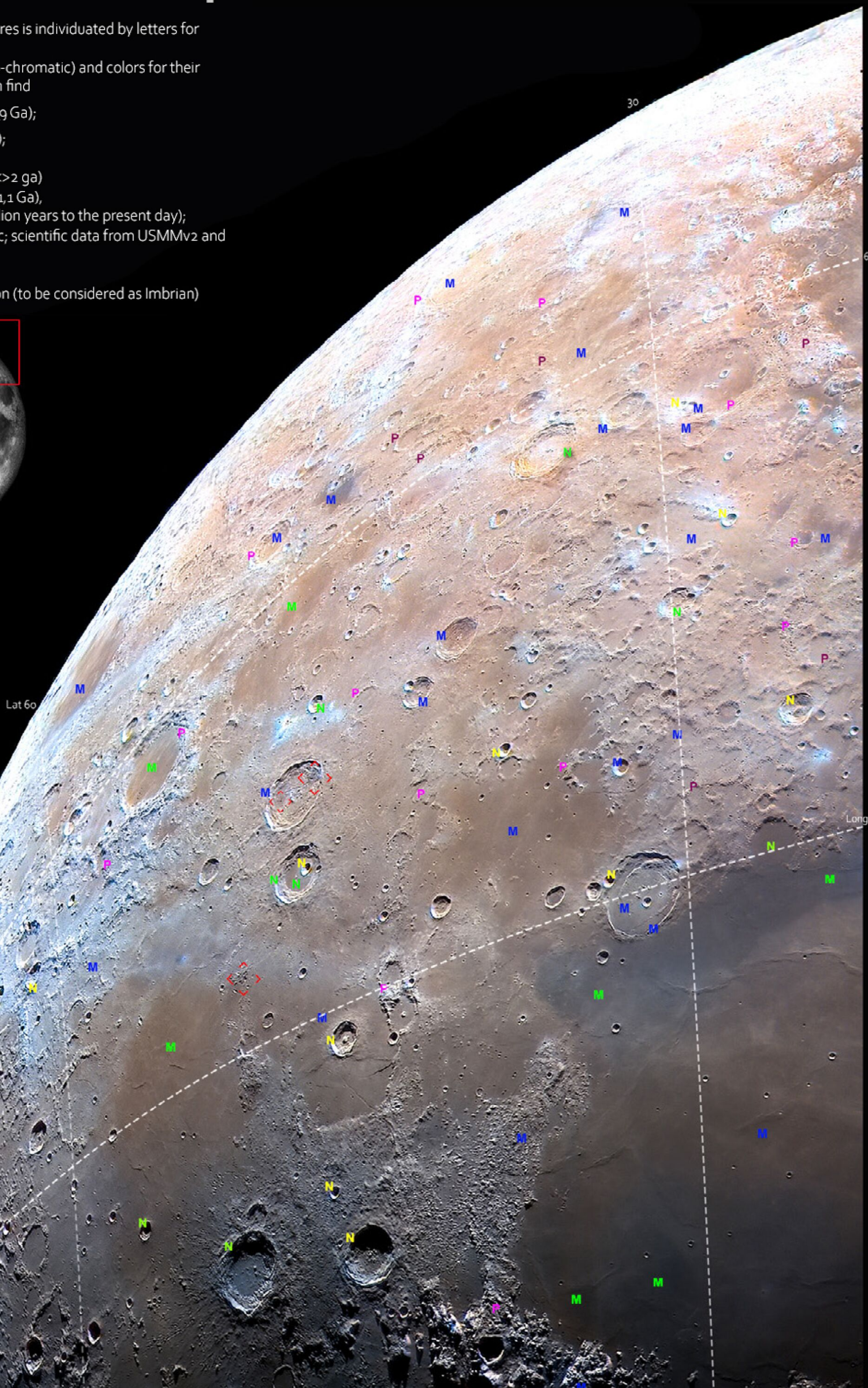
The age of geologic structures is individuated by letters for selenochromatic 'eons '
(**P**: paleo; **M**: meso-; **N**: neo-chromatic) and colors for their geologic periods. So we can find

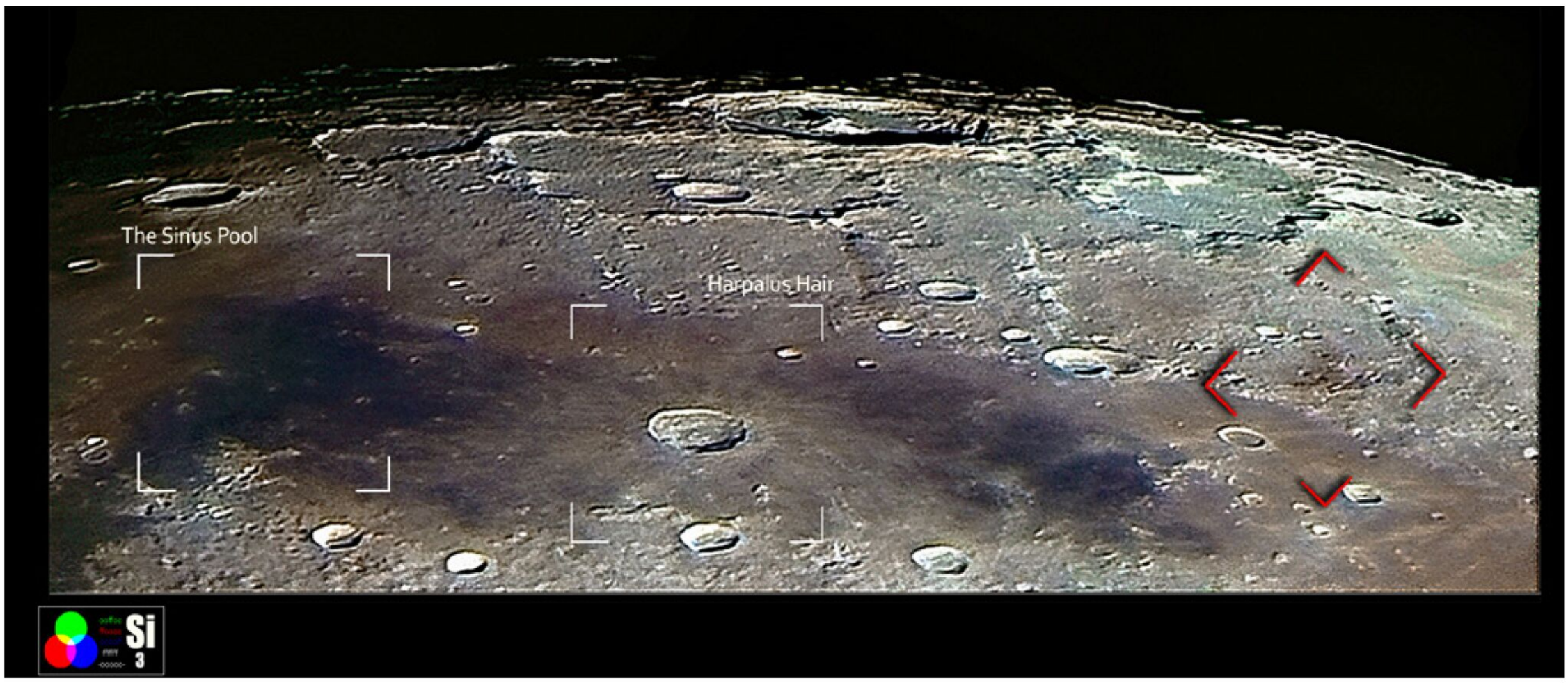
P: pre-Nectarian (4,5<> 3,9 Ga);

P: Nectarian (3,9<>3,85 Ga);
M: Imbrian (3,85<>3,2 ga),
M: early Erathostenian(3,2<>2 ga)
N : late Erathostenian (2<>1,1 Ga),
N : Copernican, from 1,1 billion years to the present day);
The map is not stratigraphic; scientific data from USMMv2 and Hiesinger et al. (2011)

Pyroclastic formation (to be considered as Imbrian)








▲ FOTO 3: immagine selenocromatica (Si) dell'area nei pressi del cratere Pythagoras con tre reperi selenocromatici di cui uno (segnalato dal quadrato rosso) di origine piroclastica (The Herschel Mufflers) con grafici minerali; i valori di FeO, TiO2 e olivina sono stati aumentati cinque volte per renderli maggiormente apprezzabili. Immagine ed elaborazione dati di A. Ferruggia

re che, in quanto tali, non sono state ancora degradate dallo *space weathering*. Quando i piccoli aloni azzurri si trovano in prossimità di strutture di diverso colore assumono il nome di *gemmae*, proprio per i gradevoli contrasti cromatici che determinano (ad esempio Gemma Censorinii, foto 1). Ma le raggiere e gli aloni d'impatto non sono tutti azzurri. Ce ne sono anche di scuri (di colore caldo o freddo): sono i cosiddetti Dhc (Dark Halo Craters), crateri attorniati da un anello scuro che spicca in un contesto più chiaro e per questo se ne consiglia l'acquisizione in piena luce, lontano dal terminatore e dall'orizzonte lunare. Una parte minore origina da fenomeni piroclastici (tipo Alphonsus R), ma la maggioranza da impatti meteoritici che "pescano" in strati profondi scuri riportando in superficie tali materiali (ad esempio Copernicus H).

Una particolare e più rara variante di crateri colorati sono gli Rhc (Red Halo Craters): talora nei mari il materiale riportato in superficie è più chiaro o di diverso colore rispetto a quello circostante. Ne derivano piccole raggiere che a mo' di macchie rossastre spezzano la monotonia delle grandi superfici piatte. Un esempio nitido è il Beaumont L Rhc (foto 1).

Ci sono poi i Red Spots, formazioni geo-cromatiche costituite da magmi ricchi di silicio; si tratta di isolati promontori irregolari, caratterizzati da un colore che va dal rosa all'arancione, fino al rosso mattone. Ne sono esempi Mons Hansteen (The Biscuit On the Coffee), i promontori detti "Gruithuisen's Pillars" (foto 2), il vulcano a scudo di Agatharchides 1 (The Red Helmet) e altri ancora. Ma il vulcanesimo lunare ha anche prodotto con attività esplosiva Dark Spots (o Lunar Pyroclastic Deposits, LPDs), aree scure a causa della presenza di un elevato tenore di olivina e pirossene. In generale hanno composizione simile a quella dei basalti maturi dei mari, a relativamente basso contenuto di ossidi di titanio. Le loro sfumature (arancione, viola, blu, verde, granato) sono dovute all'incidenza della luce, all'invecchiamento dei loro strati esposti e, soprattutto, alla chimica dei cristalli dei frammenti basaltici che li compongono: un eccesso di titanio farà virare il colore al blu/viola, alti livelli di ferro e titanio produrranno un marrone cupo, il rosso ci racconterà di alte concentrazioni di ossidi di ferro. Alcuni piccoli Dark Spots presentano materiali esposti con caratteristiche più simili a quelli delle *highlands* e in questo caso hanno maggiore albedo. Possiamo apprezzare, tra gli esempi di Dark Spots le formazioni sul fondo del cratere Alphonsus (Jaws Of Hell), quelle sul bordo del cratere Herschel (The Herschel Mafflers) e quelle di Mare Nectaris (foto 1 e 3).

*Ringraziamo per la collaborazione gli amici di Selenochromatics del Gruppo Astrofili William Herschel di Torino (https://www.gawh.it/main/selenocromatica/) e invitiamo tutti gli interessati a contattarci. Stiamo ultimando il primo catalogo dei crateri con alone colorato e stiamo mettendo a punto i criteri della campagna di rilevazione di nuovi "cryptomaria", antichi mari coperti da materiale eiettato da grandi impatti. La selenocromatica non è solo descrizione, ma anche esplorazione, e perciò ogni contributo è ben accetto.* ■

# PIANETA DOPPIO

Terra e Luna, una coppia speciale

# COMUNE ORIGINE UN SOLO DESTINO

LE ROCCE RACCOLTE DALLE MISSIONI APOLLO CONCORDANO CON L'IPOTESI OGGI PIÙ ACCETTATA: SIAMO OSPITI DI UNA COPPIA ASTRONOMICAMENTE SPECIALE, DERIVATA DA UNA CATASTROFE AVVENUTA PIÙ DI QUATTRO MILIARDI DI ANNI FA

La Luna è un satellite speciale. Per dimensioni, massa e caratteristiche geologiche, potrebbe essere un pianeta. Il suo diametro è poco meno di un terzo di quello terrestre e molto vicino a quello di Mercurio. Viste dallo spazio, per esempio da Marte, Terra e Luna fanno pensare a un pianeta doppio. Solo la coppia Plutone/Caronte è paragonabile, ma in proporzione si tratta di una miniatura.

Nel nostro cielo, la Luna è una presenza ineludibile che ha sempre influenzato la vita quotidiana, l'arte, la letteratura, la scienza. Dunque, anche sotto l'aspetto culturale, Terra e Luna sono inscindibili.

Tra gli obiettivi delle missioni Apollo il principale era chiarire come si sia arrivati a questo "pianeta doppio". La teoria oggi più accettata dai planetologi sostiene che la Luna sia in gran parte fatta di materiale terrestre strappato al nostro pianeta da una collisione catastrofica avvenuta più di 4 miliardi di anni fa.

Un pianeta doppio ma un'origine comune e un solo destino. ▶

▲ Rappresentazione artistica della Luna durante il "Grande Bombardamento Tardivo" e come appare oggi

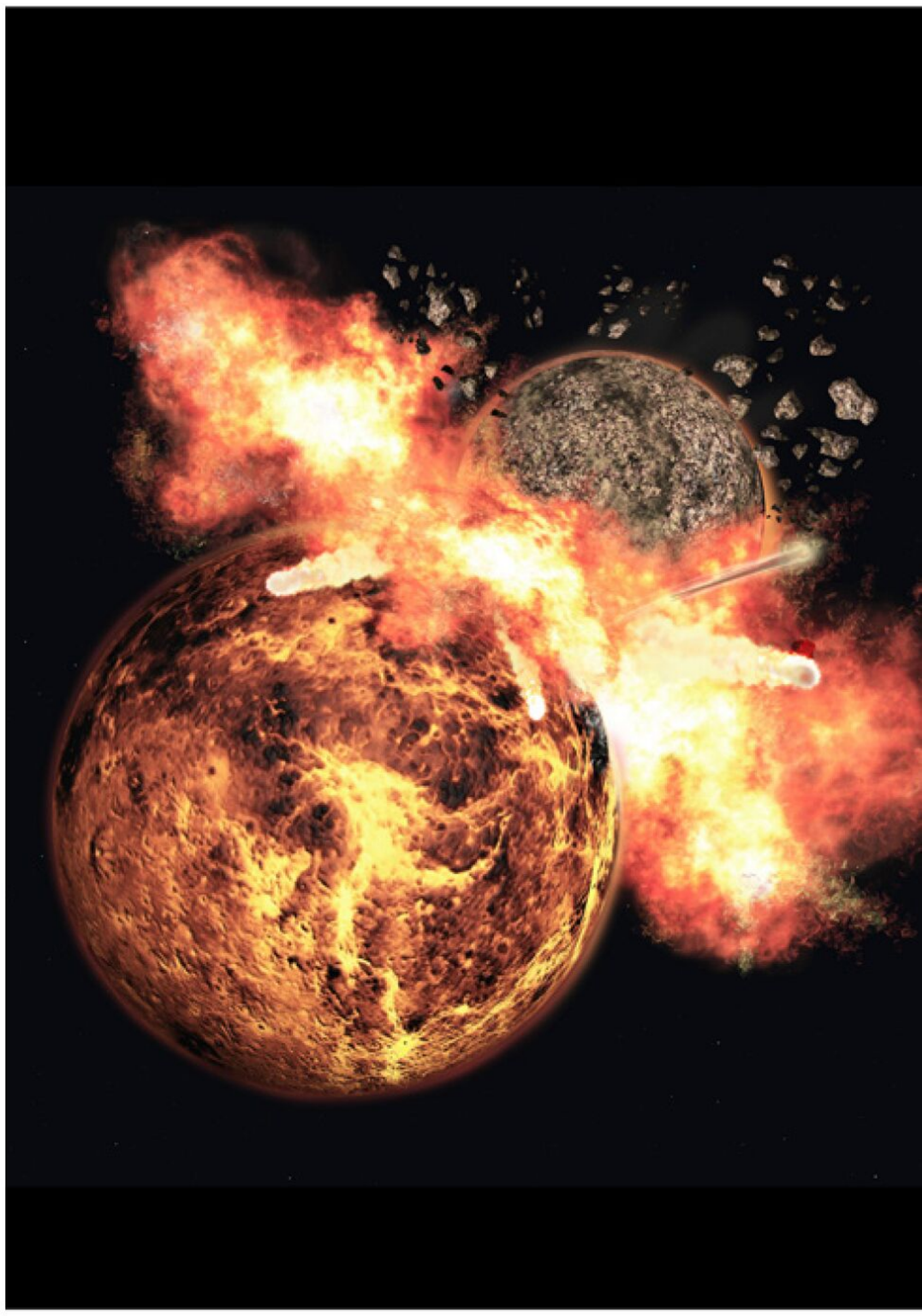
NASA/EUGENE CERNAN

## Le vecchie ipotesi

Sull'origine della Luna le teorie non mancano. La Luna si è formata in modo autonomo nella nebulosa primordiale da cui è nato il Sistema solare? È il risultato, come i pianeti di tipo terrestre, di un graduale accumulo di corpi minori, i "planetesimi"? Deriva dall'aggregazione di planetesimi rimasti in orbita attorno alla Terra? Ha avuto origine in una regione lontana ed è poi stata catturata dalla gravità terrestre? Si è staccata dal nostro pianeta quando ruotava più velocemente ed era ancora semifluido?

Quest'ultima è la teoria di George H. Darwin (1845-1912), astronomo figlio di Charles, il fondatore dell'evoluzionismo biologico. Formulata nel 1878, ebbe qualche decennio di popolarità fino a quando, nel 1930, non si dimostrò che il meccanismo di fissione è fisicamente inattendibile. Affinché la forza centrifuga potesse staccare la materia necessaria a formare la Luna, la Terra avrebbe dovuto ruotare su se stessa in due ore e non si sa spiegare in modo convincente tanta velocità. La teoria di Darwin però dava ragione della densità della Luna – 3,3 volte l'acqua – molto vicina a quella della crosta e del mantello terrestri, ma lontana sulla densità media complessiva del nostro pianeta (5,5) che comporta un massiccio nucleo di ferro.

▲ Harrison H. Schmitt, geologo e astronauta, accanto a un enorme masso lunare durante la missione Apollo 17 nel sito di Taurus-Littrow. I campioni di roccia raccolti durante le missioni Apollo hanno fornito le prova della nascita a seguito di un impatto



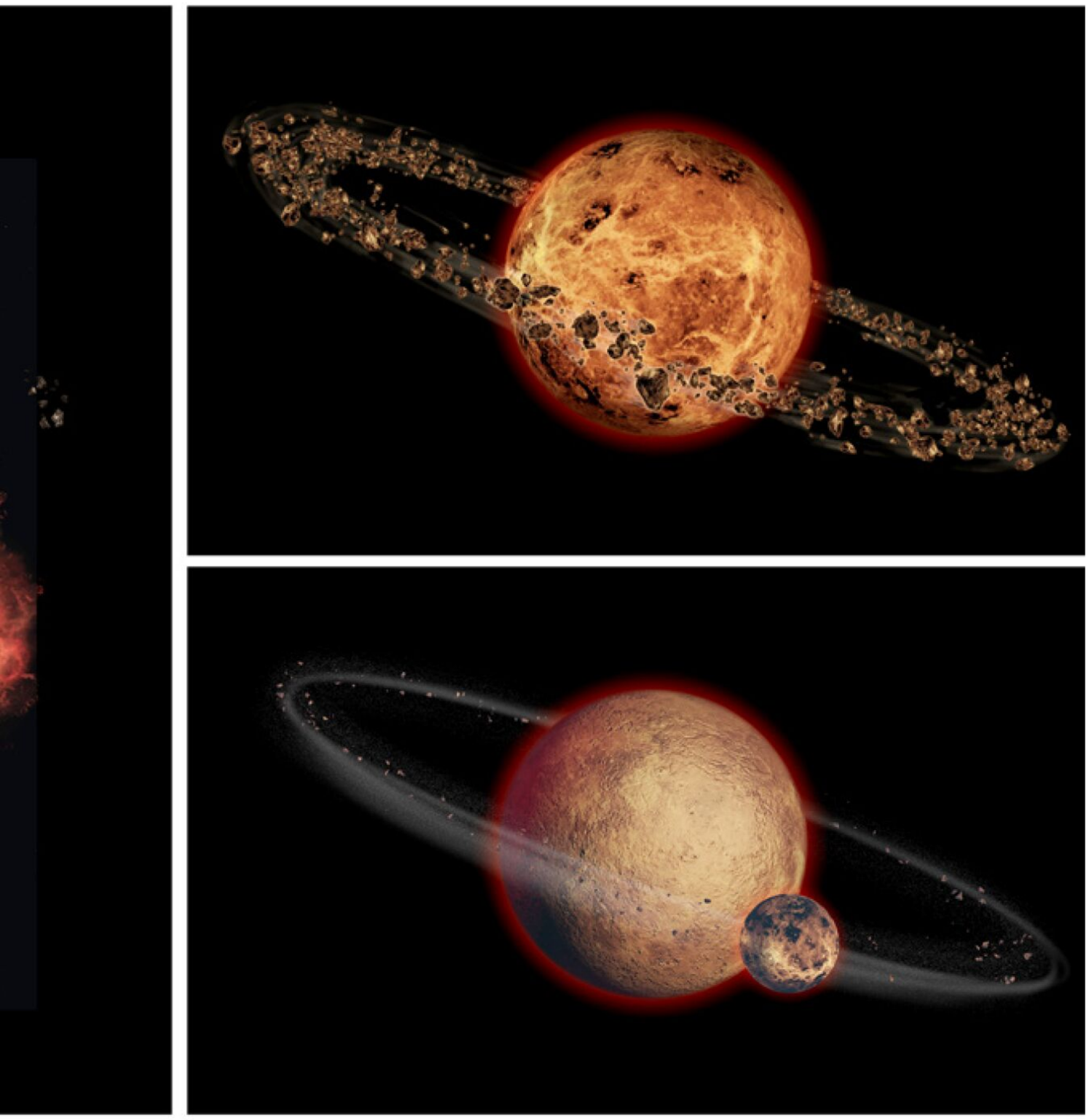
## Nascita violenta

Le missioni Apollo hanno spazzato via tutte le vecchie teorie sull'origine della Luna ma hanno salvato qualcosa dell'intuizione di Darwin, in una versione profondamente modificata che ormai si è imposta come la teoria più condivisa dalla comunità scientifica: la materia della Luna si sarebbe staccata effettivamente dalla Terra, ma sotto il catastrofico impatto di un pianeta con una massa paragonabile a quella di Marte, cioè un decimo di quella terrestre. Le "prove" non sono più ingenue come quelle di Darwin, che, per esempio, indicava nell'avvallamento dell'Oceano Pacifico la "cicatrice" lasciata dal distacco del nostro satellite. Oggi si ragiona in base alle analisi chimiche eseguite sui campioni di rocce lunari raccolti dagli astronauti e con il supporto di sofisticate simulazioni ottenute da supercomputer.

L'origine terrestre della Luna è stata rilanciata nel 1986 sulla rivista «Nature» con un saggio di Alfred E. Ringwood, allora ricercatore presso la Scuola di Scienze della Terra all'Australian National University di Canberra. Ringwood parte dal dato geologico già invocato in appoggio alla teoria di Darwin: la densità degli strati superficiali della Terra è prossima alla densità media della Luna. Jeffreys e Urey hanno spiegato le diverse densità dei pianeti di tipo terrestre con opportune differenze nelle percentuali di silicati (densità 3,3 g per centimetro cubico) e metalli come il nichel e il ferro (densità 7,9 g per centimetro cubico). Nel caso della Luna la massa del nucleo metallico risulta modesta. Secondo i dati della sonda Lunar Prospector (1998) il nucleo lunare avrebbe un diametro compreso tra 220 e 450 km e una massa tra l'1 e il 4% di quella totale. Il nostro satellite, dunque, sembra fatto quasi esclusivamente con lo stesso materiale che costituisce la crosta e il mantello terrestri. Per verificarlo, Ringwood ha confrontato la concentrazione di alcuni elementi chimici nelle rocce lunari e in quelle terrestri. Le percentuali di tungsteno, uranio, cobalto, ferro, manganese e cromo concordano entro margini molto stretti. Tutto ciò sembra ancora dare ragione a Darwin, anche se la cavità dell'Oceano Pacifico non c'entra per niente, in quanto la deriva dei continenti fa sì che il Pacifico sia una depressione geologicamente giovane e addirittura effimera (durerà tutt'al più 400 milioni di anni, meno di un decimo dell'età della Terra e della Luna). Rimane la difficoltà di spiegare dinamicamente la scissione Terra/Luna e gli altri dati a nostra disposizione come l'età delle rocce lunari, che risulta in alcuni casi di oltre 4 miliardi di anni, cioè molto vicina all'origine del sistema solare.

Ringwood ha sviluppato un'ipotesi secondo la quale la nascita della Luna risalirebbe a violentissime collisioni avvenute oltre 4 miliardi di anni fa tra la Terra ancora in formazione e numerosi massicci planetesimi la cui orbita incrociava quella terrestre.

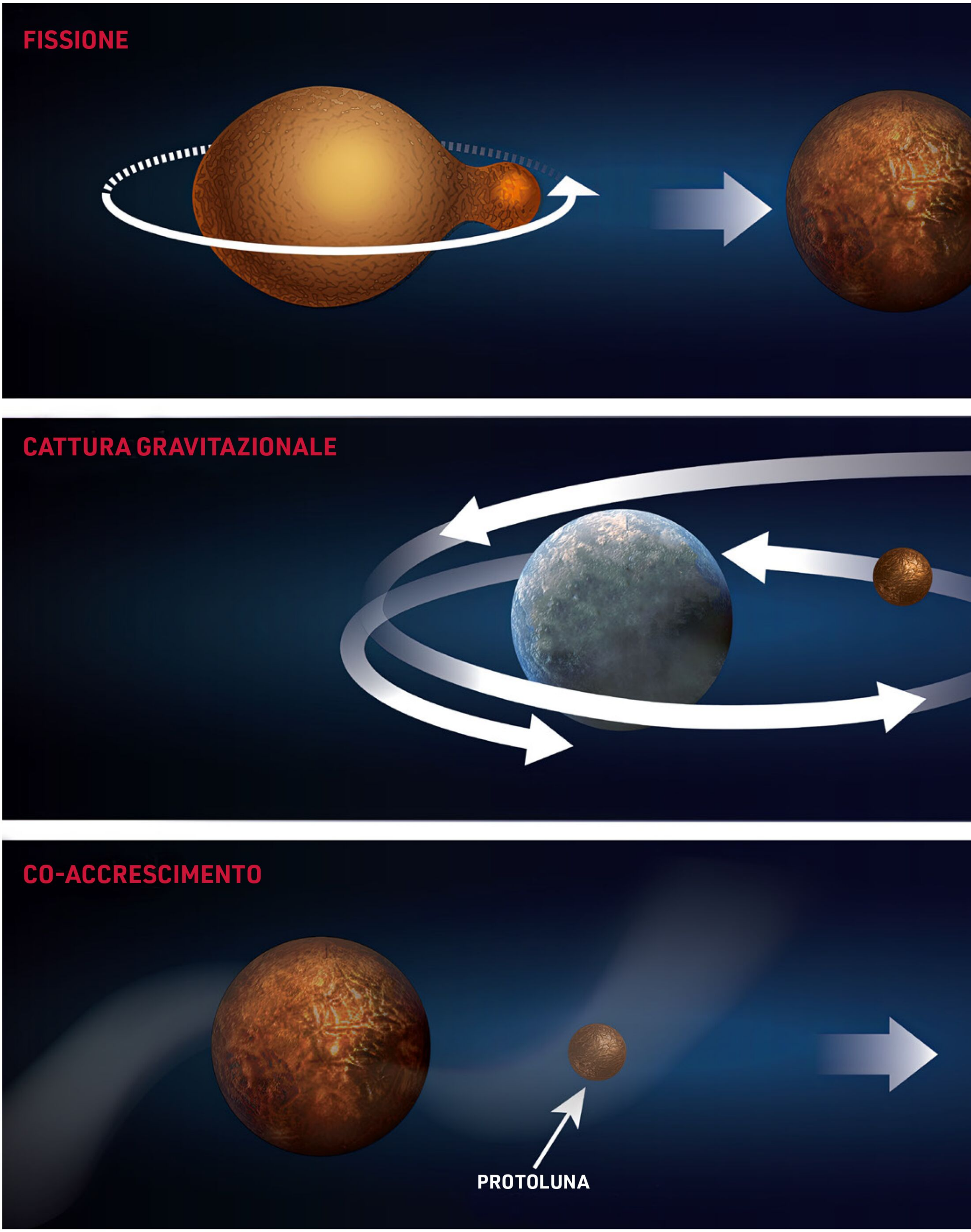
▼ Secondo la teoria oggi più accreditata, la Luna si sarebbe formata dopo l'impatto di un protopianeta, battezzato Theia, con un diametro di 6000 km. Il materiale espulso avrebbe incominciato a condensarsi in orbita intorno alla Terra formando un anello di detriti; e 23 ore dopo una protoluna avrebbe già preso forma



## Siamo nipoti di Theia?

L'ipotesi oggi più condivisa è una variante drammatica di quella di Ringwood. Con simulazioni al calcolatore, H.J. Melosh e M. Kipp, dei Sandia National Laboratories, e Willy Benz e Wayne L. Slattery, del Los Alamos National Laboratory, hanno trovato che tutti i dati sperimentali in nostro possesso si spiegherebbero bene immaginando che, durante la formazione del Sistema solare, circa 4 miliardi e 500 milioni di anni fa, un protopianeta di circa 6000 km di diametro abbia urtato la Terra tangenzialmente alla velocità tra 11 e 15 km al secondo sconvolgendone crosta e mantello. L'ipotetico protopianeta ha ricevuto il nome di Theia, che nella mitologia greca è figlia di Urano (il cielo) e di Gea (la Terra).

Dodici minuti dopo la collisione si sarebbero formati attorno alla Terra due giganteschi pennacchi di materiale vaporizzato dall'enorme calore sviluppatosi nell'urto. Dieci ore dopo l'impatto, il materiale espulso avrebbe incominciato a condensarsi in orbita intor- ▶


FISSIONE
CATTURA GRAVITAZIONALE
CO-ACCRESCIMENTO
PROTOLUNA

PAOLO A. SOSSI, MIKI NAKAJIMA, AMIR KHAN

◀ Modelli storici sull'origine della Luna. (a) Fissione: la Luna si sarebbe staccata da una Terra ancora semifluida in rotazione più rapida rispetto a oggi. Era l'ipotesi di George H. Darwin. (b) Cattura gravitazionale: la Luna sarebbe un asteroide entrato in orbita per via della gravità terrestre. (c) Co-accrescimento: la Terra e la Luna si sono formate insieme nel disco protoplanetario

no alla Terra formando un anello di detriti e 23 ore dopo una protoluna avrebbe già preso forma. Terra e Luna, insomma, sarebbero gemelle siamesi come sosteneva George Darwin, ma la separazione, secondo la teoria oggi accettata, sarebbe stata ben più violenta di quanto lui avesse immaginato.

Secondo le simulazioni, la Luna neonata orbitava a 20-30.000 km dalla Terra e sarebbe apparsa in cielo 10-20 volte più grande della Luna che osserviamo. Gli effetti mareali contribuirono a scaldare il nostro pianeta e il suo satellite, entrambi avvolti in magma incandescente e bombardati da asteroidi. Fortissime maree rallentarono i moti di rotazione e la Luna andò allontanandosi con un emisfero ormai stabilmente rivolto verso la Terra. Quattro miliardi di anni fa avvenne il cosiddetto "Grande Bombardamento Tardivo": durò 100 milioni di anni, scavando sulla Luna buona parte dei maggiori crateri che ancora vediamo.

## "Pistola fumante"

La teoria spiega l'origine della Luna in modo naturale, riportandola allo scenario violento della formazione del Sistema solare, spiega perché densità e composizione della Luna siano simili a quelle della crosta e del mantello terrestri, spiega perché la Luna non abbia un nucleo di ferro massiccio, spiega – con l'urto obliquo del corpo impattante – la velocità di rotazione della Terra, e riceve conferma dai rapporti isotopici misurati nei campioni lunari.

La scoperta di una scheggia di antichissima roccia terrestre in un campione lunare, raccolto dagli astronauti dell'Apollo 14, ha offerto quella che sembra una prova diretta del distacco del materiale lunare dal nostro pianeta. A suggerire la "pistola fumante" è un gruppo internazionale di ricercatori del Center for Lunar Science ad Exploration (Nasa) guidato da Jeremy Bellucci e Alexander Nemchin. Il lavoro è comparso nel gennaio 2019 sulla rivista «Earth and Planetary Science Letters». Il materiale sospettato di avere origine terrestre – appena 2 g – è composto da quarzo, feldspato e zircone. La roccia si sarebbe cristallizzata a 20 km di profondità sotto la superficie terrestre tra 4 e 4,1 miliardi di anni fa. L'espulsione sarebbe avvenuta sotto l'urto di un planetoide che colpì la Terra di striscio 3 miliardi e 900 milioni di anni fa, quando nel sistema Solare era in corso un intenso bombardamento di grandi meteoriti. Mescolatasi con materiale lunare, la roccia di origine terrestre sarebbe stata riportata in superficie da un asteroide che colpì la Luna 26 milioni di anni fa scavando un cratere di 340 m di diametro nella regione di Fra Mauro, e lì lo hanno raccolto Shepard e Mitchell il 6 febbraio 1971. ■

# INFLUSSI LUNARI VERI E PRESUNTI

LE MAREE SONO L'EFFETTO PIÙ VISTOSO CHE TUTTI CONOSCIAMO, MA IL PIÙ IMPORTANTE È LA STABILIZZAZIONE DELL'ASSE DI ROTAZIONE TERRESTRE: HA RESO POSSIBILE L'EVOLUZIONE BIOLOGICA

Tradizioni millenarie attribuiscono alla Luna e alle sue fasi influssi leggendari: su fenomeni meteorologici, pratiche agricole, imbottigliamento del vino, mestruazioni... Nessuno di questi influssi è scientificamente dimostrato. Riconosciuta già dagli antichi Greci ma a lungo controversa è stata invece la più vistosa azione lunare sul nostro pianeta: le maree. Si deve per due terzi all'attrazione gravitazionale del nostro satellite il continuo flusso e riflusso delle acque marine e per un terzo al Sole, la cui attrazione si combina variamente con quella lunare a seconda delle fasi. Le maree più forti coincidono con la Luna piena e la Luna nuova (maree sigiziali), le più deboli con il primo e l'ultimo quarto (maree delle quadrature).

Non si nota a prima vista, ed è stato messo in rilievo solo di recente, ma c'è un influsso di importanza vitale: tutti noi dobbiamo alla Luna una gratitudine illimitata perché essa, con la sua presenza, stabilizza l'asse di rotazione della Terra. Se così non fosse, su periodi lunghi, decine di milioni di anni, il clima subirebbe ampie oscillazioni e la vita non avrebbe potuto evolversi fino alle forme più complesse, in quanto queste sono l'esito di una buona stabilità ambientale di tre miliardi di anni. Senza l'azione regolatrice esercitata dal nostro satellite, forse sulla Terra vivrebbero solo organismi semplici, unicellulari o poco più. L'umanità non esisterebbe. Perché l'esistenza della Luna è così importante? Fin dalle scuole primarie sappiamo che le stagioni sono dovute all'inclinazione dell'asse terrestre, che per sei mesi espone al Sole il Polo Nord e per altri sei mesi il Polo Sud, con annesse variazioni stagionali delle regioni intermedie. L'inclinazione attuale è di 23 gradi e mezzo. Non è costante, ma cambia di poco: in 41.000 anni va da un minimo di 22,1 gradi a un massimo di 24,5, poi il ciclo si ripete. Attualmente l'obliquità sta diminuendo di 0,4 secondi d'arco l'anno, una quantità impercettibile sulla scala della vita umana. La variazione è dovuta alle perturbazioni gravitazionali esercitate dagli altri pianeti, soprattutto Giove, perché è molto massiccio, e Venere perché si avvicina parecchio alla Terra. Un certo influsso esercita anche Marte, la cui distanza da noi varia ampiamente tra 56 e 400 milioni di chilometri.

## Perché il clima è stabile?

Il nostro pianeta è "panciuto", ha un rigonfiamento all'equatore ed è appiattito ai poli. Questa forma, chiamata dai matematici "ellissoide di rotazione", insieme con l'inclinazione dell'asse, fa sì che l'attrazione gravitazionale esercitata dagli altri pianeti non sia uniforme, tanto più che i moti orbitali di Venere, Terra, Marte e Giove si compongono in modo complesso, ora sommando ora sottraendo attrazione gravitazionale. Ma rispetto alle forze ▶

◀ Il retroriflettore installato dall'equipaggio di Apollo 14 nel 1971. In tutto i pannelli sulla Luna sono cinque: tre lasciati dagli astronauti americani e due dai rover sovietici Lunokhod 1 e 2

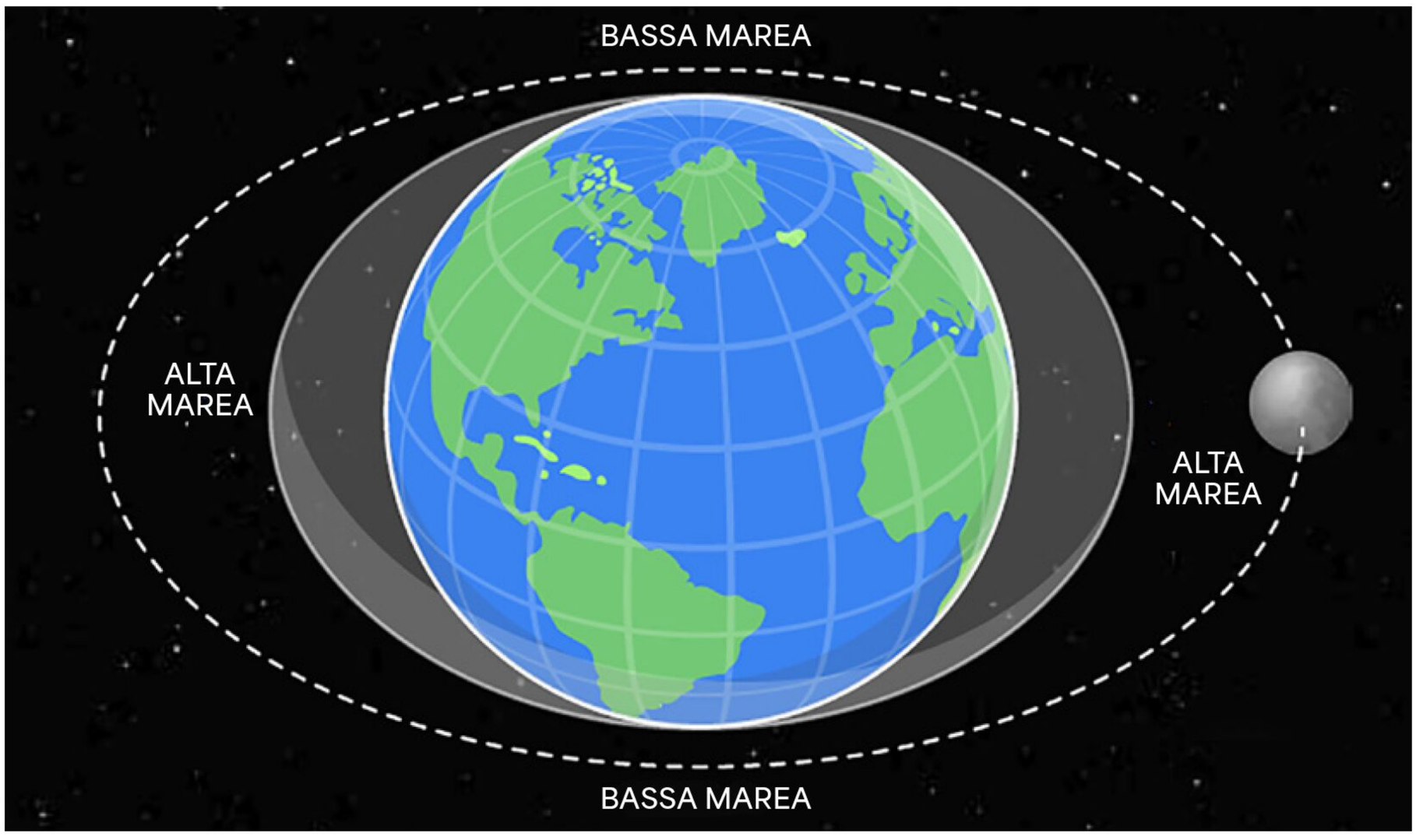
► Le fasi lunari non hanno influssi dimostrati scientificamente su agricoltura, imbottigliamento, gravidanze, meteorologia

NASA (X2)

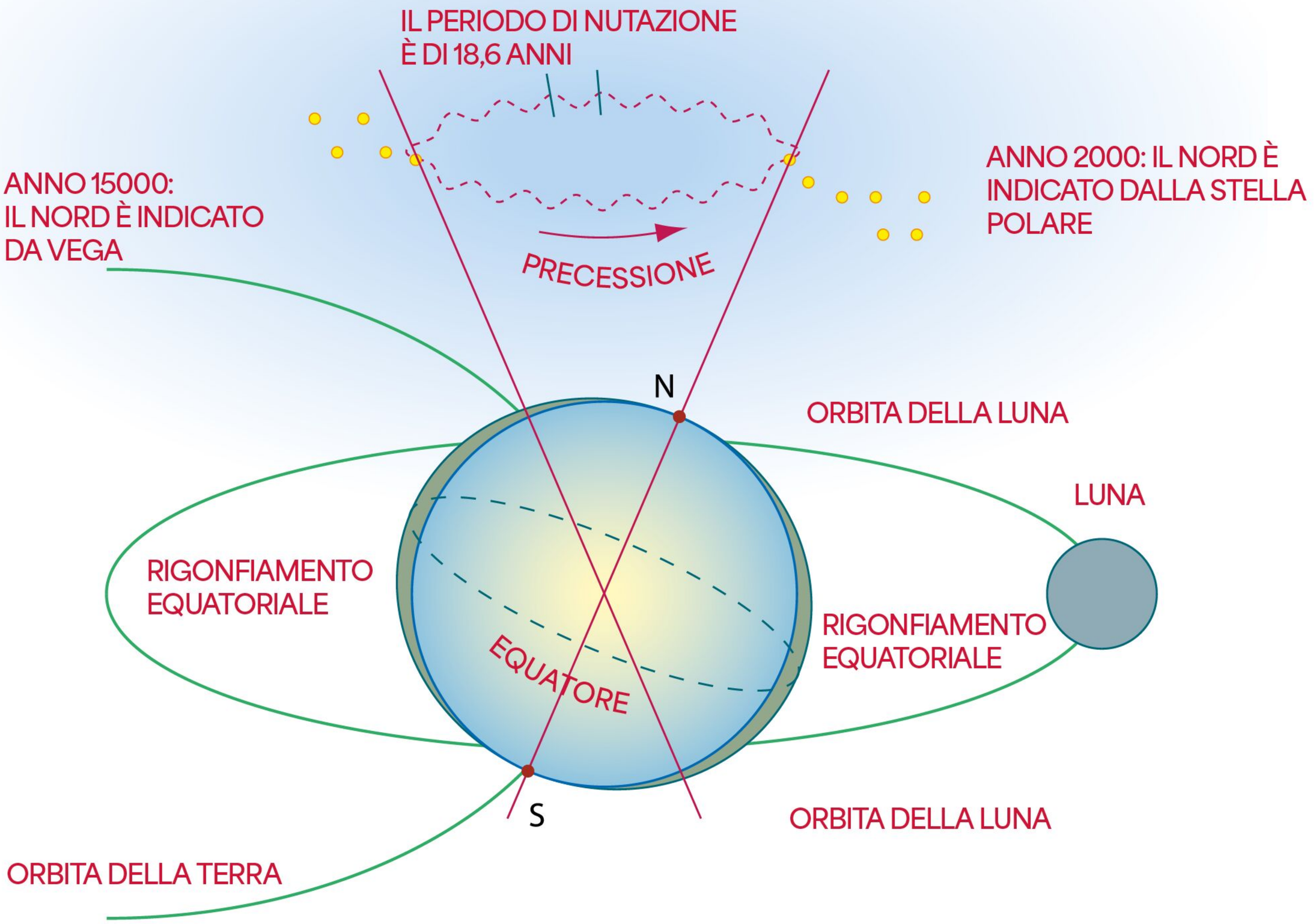
► I grandi corpi idrici della Terra sperimentano idealmente due alte e due basse maree al giorno, determinate dal passaggio della Luna sul meridiano locale e agli antipodi. La presenza delle terre emerse e le differenze tra i vari bacini oceanici fanno sì che le maree abbiano ritardi, frequenze e intensità diverse da zona a zona

esercitate dagli altri pianeti, l'azione della Luna è di gran lunga prevalente e funziona da ammortizzatore. Da questo punto di vista noi siamo quasi esclusivamente sotto l'influsso della Luna (e del Sole). È un po' come se la Luna tenesse l'asse terrestre nella sua morsa gravitazionale, con minime concessioni ai pianeti.

Se la Luna non ci fosse, in alcune decine di milioni di anni l'inclinazione dell'asse di rotazione terrestre varierebbe da 0 a 85 gradi, stravolgendo il clima con lo spostamento delle calotte polari e delle correnti oceaniche che ridistribuiscono il calore sul nostro pianeta. Poiché il moto dei pianeti è un esempio di caos deterministico, sarebbe caotica anche l'oscillazione dell'asse terrestre, e quindi caotico il clima. Un esempio clamoroso di rotazione caotica è Iperione, un satellite di Saturno scoperto nel 1848 da William e George Bond e, due giorni dopo, da William Lassell. La forma di Iperione è irregolare e ciò fa va-




► La forza di attrazione della Luna solleva i nostri oceani, creando un rigonfiamento. Il secondo rigonfiamento sul lato opposto è causato dall'inerzia. Le maree si formano quando la Terra ruota sotto questi due rigonfiamenti




▲ Precessione e nutazione dell'asse terrestre. Nell'anno 15000 il Nord sarà indicato da Vega, nella costellazione della Lira, con precisione minore

riare in modo imprevedibile gli effetti combinati dell'attrazione gravitazionale degli altri satelliti e in particolare di Titano, con il quale si trova in risonanza orbitale.

Anche la durata del giorno è un regalo della Luna. Immaginando che inizialmente la Terra girasse su se stessa in sei ore, nel corso di 4 miliardi e 500 milioni di anni il Sole l'avrebbe rallentata di 6 ore e ora avremmo giornate di 10 ore: sono di 24 grazie alle forze di marea della Luna e all'attrito che esercitano spostando di continuo le acque degli oceani. Il meccanismo mareale, in un sistema legato gravitazionalmente come quello Terra-Luna, comporta inoltre che aumenti la distanza tra i due corpi: la Luna in passato percorreva un'orbita più vicina alla Terra e il suo allontanamento continua. I retroriflettori lasciati sulla Luna dagli astronauti e quello di un Lunochod russo permettono di misurare con un raggio laser il progressivo aumento della distanza: 3,8 cm l'anno. Osserviamo incidentalmente che il ping-pong Terra-Luna con raggi laser è interessante anche perché rende possibili due ricerche di fisica fondamentale: la verifica del principio di equivalenza di Einstein e la verifica della invariabilità della costante gravitazionale.

## Precessione e nutazione

Poiché nell'universo nulla è gratis, la stabilità dell'asse terrestre deve pagare una tassa alla Luna. La tassa principale è la "precessione degli equinozi", fenomeno per il quale il Sole, nel suo moto apparente annuo, incontra sempre un poco prima i punti equinoziali. Ciò avviene perché l'asse terrestre segue un movimento conico che si compie in circa 25.800 anni. È questo il periodo dopo il quale l'asse del nostro pianeta torna ad essere diretto nuovamente verso la stessa regione del cielo. Attualmente esso punta verso la stella Polare con l'approssimazione di un grado. Fra 13.000 anni punterà, con precisione minore, verso Vega.

Ma la precessione degli equinozi non avviene con moto uniforme, in quanto il piano dell'orbita lunare è inclinato su quello dell'eclittica. Il risultato è che l'asse terrestre subisce un ulteriore piccolo moto oscillatorio, chiamato "nutazione", con una periodicità di 18 anni. Per effetto della nutazione, è come se rispetto al cerchio della precessione l'asse terrestre seguisse una piccola ellisse con l'asse maggiore di 18",42 diretto verso il polo dell'eclittica, e il minore di 13",72. Il fenomeno fu scoperto da James Bradley (1693-1762) durante le sue misure dell'aberrazione della luce. Bradley, infatti, notò che le coordinate equatoriali delle stelle crescevano per un po' più di 9 anni e poi decrescevano nello stesso arco di tempo: la somma di questi due periodi risulta appunto di 18 anni e due terzi, cioè il tempo impiegato dalla linea dei nodi lunari per compiere un giro completo. ■

# OGNI CULTURA HA LA SUA LUNA

RELIGIONI, POETI E NARRATORI IN OGNI TEMPO HANNO GUARDATO AL NOSTRO SATELLITE COME A UNA NATURALE ESTENSIONE DELLA TERRA. DALLA STORIA VERA DI LUCIANO DI SAMOSATA AL CANTICO DELLE CREATURE DI FRANCESCO D'ASSISI, DA DANTE A PETRARCA, LEOPARDI E MANZONI

◀ La dea cinese della Luna Chang'e, qui raffigurata in un'incisione dell'artista giapponese Tsukioka Yoshitoshi (1839-1892), ha dato il nome al programma di esplorazione cinese del nostro satellite

Che si possa considerare la coppia Terra-Luna una simbiosi astronomica, cioè appunto un "pianeta doppio", è confermato dalla storia della cultura di tutti i Paesi di ogni continente.

Anche il viaggio verso la Luna è un sogno antico. Luciano di Samosata, che visse nel II secolo, nella sua *Storia vera*, immagina di raggiungere il nostro satellite naturale non con un razzo ma con una nave: «Un giorno navigavo verso l'Oceano d'Occidente, spinto da un vento propizio. Motivo del viaggio era stata l'irrequietezza della mia mente e la volontà di sapere dove finisse l'oceano e quali uomini vivessero al di là. A tale scopo caricai moltissimi viveri, una quantità di acqua sufficiente, mi procurai un buon numero di armi, presi il miglior pilota e rinforzai la nave – era un battello leggero – attrezzandola per una navigazione lunga e pericolosa. Navigammo, dunque, per un giorno e una notte con il vento propizio, ma non progredimmo granché, e la terra era ancora in vista. Il giorno seguente, con sorgere del sole, il vento crebbe, le onde ingrossarono e si fece un buio tale che non era nemmeno più possibile ammainare la vela. Cedemmo alle raffiche e ci lasciammo andare restando 79 giorni in balia dell'uragano».

Così incomincia la grande avventura. La tempesta porterà l'imbarcazione da un'isola all'altra fin sulla Luna. Quando il vento mollerà, gli audaci cadranno nell'oceano... come gli astronauti delle missioni Apollo. La *Storia vera* di Luciano diventerà un *topos* letterario, ripreso, per esempio, dall'Ariosto con il viaggio di Astolfo.

La parola "Luna deriva" dalla radice indoeuropea "leuk" che significa "candido, splen- ▶

▶ Un fotogramma del film *Viaggio nella Luna*, realizzato nel 1902 dal regista francese Georges Méliès e ispirato ai romanzi *Dalla Terra alla Luna* di Jules Verne e *I primi uomini sulla Luna* di H.G. Wells

dente". Già l'Uomo di Cro-Magnon, ventimila anni fa, in piena glaciazione, scandiva il tempo annotando le fasi lunari: l'osso di Blanchard riporta 61 incisioni accanto a una falce lunare. La Luna è una divinità femminile in molte religioni antiche di ogni parte del mondo: gli etnologi hanno contato più di mille nomi che designano la Luna. Nella letteratura italiana compare in uno dei testi più antichi e più belli, il *Cantico delle creature* di Francesco d'Assisi. Nella *Divina Commedia* Dante usa nove volte la parola Luna e attribuisce a Beatrice una vera e propria lezione scientifica sui "segni bui" visibili, anche a occhio nudo, sulla sua superficie (i "mari"). Petrarca coglie l'aspetto lirico e fa della Luna una metafora di stati d'animo malinconici, un'anticipazione del romantico Leopardi e dei paesaggi notturni manzoniani. C'è una Luna decadente in Gabriele D'Annunzio, ingenua ma genuina in Camillo Sbarbaro, neo-realista in Moravia, e poi c'è quella delle *Cosmicomiche* di Italo

▼ L'osso di Abri Blanchard, rinvenuto nell'omonima località della Dordogna, in Francia, è considerato uno dei primi esempi di calendario lunare

DON HITCHCOCK

Calvino: «La Luna è vecchia – assentì Qfwfq – bucherellata, consumata. Rotolando nuda per il cielo si logora e si spolpa come un osso rosicchiato».
Con il perenne succedersi delle fasi, la Luna è simbolo di cambiamento (e di capriccio) nella cultura popolare ("avere le lune"), ma già i filosofi dell'antica Grecia tentarono, parzialmente con successo, di darne interpretazioni scientifiche, osservarono eclissi di Sole e di Luna, stimarono la sua distanza dalla Terra.

Fu Tolomeo a darle una collocazione nel suo sistema geocentrico accettata fino a Copernico, e fu Galileo e scoprendo su di essa montagne, crateri, pianure, il primo a considerare la Luna per quello che è: un oggetto astronomico affine alla Terra. Una conquista che diventerà definitiva quando Newton, dalla mitica mela caduta nel suo giardino, estenderà fino alla Luna e oltre la sua legge di gravitazione universale.
Nel cinquantenario del primo sbarco Apollo, l'astrofisica Patrizia Caraveo ha portato alla luce episodi interessanti. A immaginare il viaggio sulla Luna troviamo Pulcinella, una vicenda ripresa anche da Dario Fo. La maschera napoletana, cantastorie d'eccezione, nel 1836 descrive in versi la propria escursione lunare avvalendosi di cartelloni illustrati. Qualche tempo dopo, Ernesto Capocci, già direttore dell'Osservatorio di Napoli a Capodimonte, inaugura la fantascienza moderna scrivendo la *Relazione del primo viaggio alla Luna fatto da una donna l'anno di grazia 2057*. Si noti la scelta prudenziale della data unita all'audacia femminista. Anti-borbonico e di idee liberali, dopo i moti del 1848 Capocci fu destituito dalla direzione di Capodimonte.
Il suo resoconto dell'immaginaria escursione sul nostro satellite è datato 1857. Jules Verne con *Dalla Terra alla Luna* arriverà sei anni dopo. Lo sbarco degli astronauti nel 1969, dunque, legittima e sancisce il concetto di "pianeta doppio", segna il traguardo di un sogno che da sempre accompagna l'umanità ispirando stupori, poesie, superstizioni, filosofie, fantasie, teorie scientifiche. Ma l'attrazione fatale della Luna sopravvive intatta nelle missioni Artemis e nel progetto Gateway, la stazione spaziale in orbita cis-lunare. ■

▼ Beatrice spiega a Dante la teoria delle "macchie lunari". Illustrazione per la *Divina Commedia* realizzata da Giovanni di Paolo (1403-1482)

## ALTRE LUNE

Piccole, grandi, forse vive

# DEIMOS E PHOBOS UNA COMETA INTORNO A MARTE?

PICCOLI E IRREGOLARI, COME LA NOSTRA LUNA, I DUE SATELLITI RIVOLGONO SEMPRE LA STESSA FACCIA AL PIANETA. SONO IL RISULTATO DELLA CATTURA GRAVITAZIONALE OPPURE DI UN IMPATTO. UNA MISSIONE GIAPPONESE È PRONTA A INDAGARE

◀ Marte e le sue lune. Secondo uno studio recente, potrebbero essere due parti di una cometa catturata dalla gravità del pianeta e poi spezzata dalle forze mareali

Aveva un'atmosfera e acqua in superficie, e forse ospitava la vita di cui oggi cerchiamo le tracce. Ma secondo uno studio del 2024 Marte assomigliava alla Terra anche per un altro motivo: in passato aveva una sola luna. Deimos e Phobos, i due satelliti naturali che oggi orbitano intorno a Marte, forse un tempo formavano un oggetto unico, una cometa catturata dalla gravità del pianeta e successivamente spaccata in due dalle forze di marea dovute alla stessa gravità.

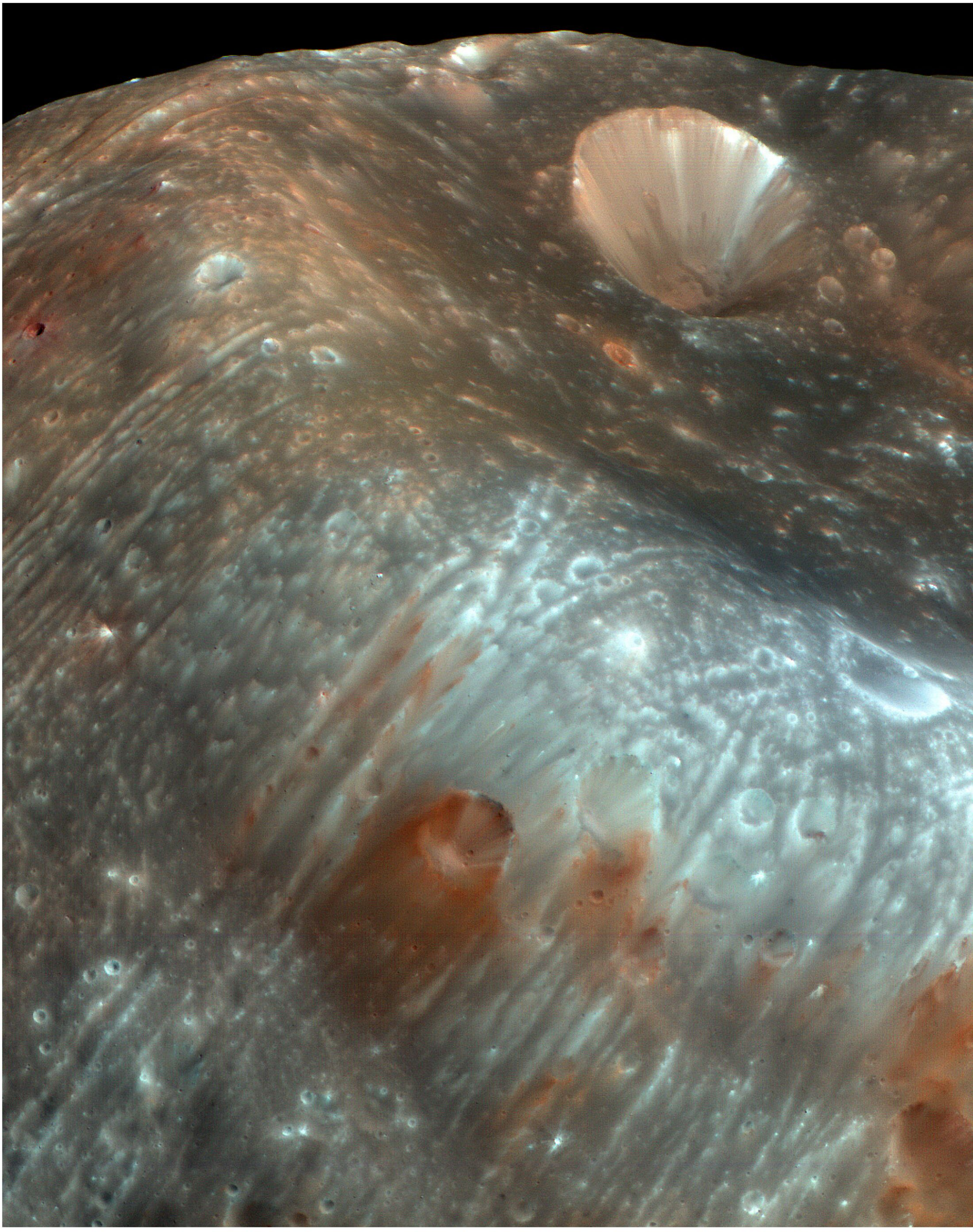
I ricercatori sono arrivati a questa conclusione dopo avere analizzato circa 300 foto inedite di Phobos scattate dalla sonda Mars Express, dell'Agenzia spaziale europea a partire dal 2003. La superficie di Phobos è molto più luminosa quando il Sole è alto – come accade per diversi oggetti del Sistema solare privi di atmosfera – ed è porosa e coperta di polvere. Queste caratteristiche rendono Phobos simile alle comete di tipo gioviano come 67P/Churyumov-Gerasimenko, visitata dalla sonda Rosetta nel 2014. Phobos e Deimos potrebbero essere le prime "lune di cometa" conosciute del Sistema solare.

A indagare penserà la missione Martian Moons eXploration (Mmx), dell'Agenzia spaziale giapponese Jaxa, che nel 2026 partirà alla volta di Phobos con l'obiettivo di studiare la luna marziana e riportarne a Terra un campione. Avremo qualche indizio in più per fare luce sulla nuova teoria e sulle due finora riconosciute come alternative, secondo cui Phobos e Deimos sarebbero due asteroidi catturati dal pianeta oppure i resti di un impatto con la superficie marziana.

Phobos e Deimos sono state scoperte nel 1877 dall'astronomo americano Asaph Hall e hanno preso il nome dagli dei greci della paura e del panico, gemelli e figli di Ares (altrimenti ▶

▼ Phobos, la più grande delle due lune di Marte, in una ripresa della camera High Resolution Imaging Science Experiment (HiRISE) sulla sonda Mars Reconnaissance Orbiter

NASA/JPL-CALTECH/UNIVERSITÀ DELL'ARIZONA (X2)



NASA/JPL/UNIVERSITY OF ARIZONA

NASA/JPL-CALTECH/UNIVERSITÀ DELL'ARIZONA

▲ Deimos, la più piccola delle due lune di Marte. La sua superficie appare molto liscia per via dello strato di regolite che la ricopre, spesso fino a 100 m

noto come Marte). Hanno un diametro rispettivamente di 22,5 e 12 km. Nessuna delle due è abbastanza massiccia da diventare sferica per effetto della propria gravità ed entrambe sembrano asteroidi con una forma irregolare.

Phobos orbita a una distanza media di 9380 km da Marte, completando tre rivoluzioni al giorno. Durante ogni rivoluzione compie anche una rotazione su sé stesso, mostrando quindi sempre la stessa faccia al pianeta. Poiché il suo periodo di rivoluzione è inferiore a quello di rotazione del pianeta, un osservatore su Marte lo vedrebbe sorgere a ovest e tramontare a est, muovendosi in senso contrario rispetto al moto apparente del Sole.

Si avvicina a Marte al ritmo di quasi due metri ogni cento anni. Tra cinquanta milioni di anni precipiterà sul pianeta o si disintegrerà formando un anello. La sua caratteristica più evidente è il cratere Stickney, largo 8 km e altamente riflettente. È dedicato a Chloe Stickney, matematica e moglie di Hall. Non ha un'atmosfera e la sua temperatura varia tra i -4°C diurni e i -112°C notturni. La differenza è dovuta probabilmente alla scarsa capacità di trattenere il calore che hanno le polveri superficiali.

Phobos è stato obiettivo di due missioni sovietiche nel 1988. Entrambe avrebbero dovuto posare un lander sul satellite marziano, ma la prima si perse poco dopo il lancio e la seconda riuscì solo a fotografarlo da 800 km.

Deimos, la luna minore, ruota intorno a Marte a una distanza di oltre 23.000 km seguendo un percorso quasi circolare vicino al piano equatoriale marziano e ha un periodo di rivoluzione di 1,26 giorni. È a sua volta in rotazione sincrona con il pianeta. ▶

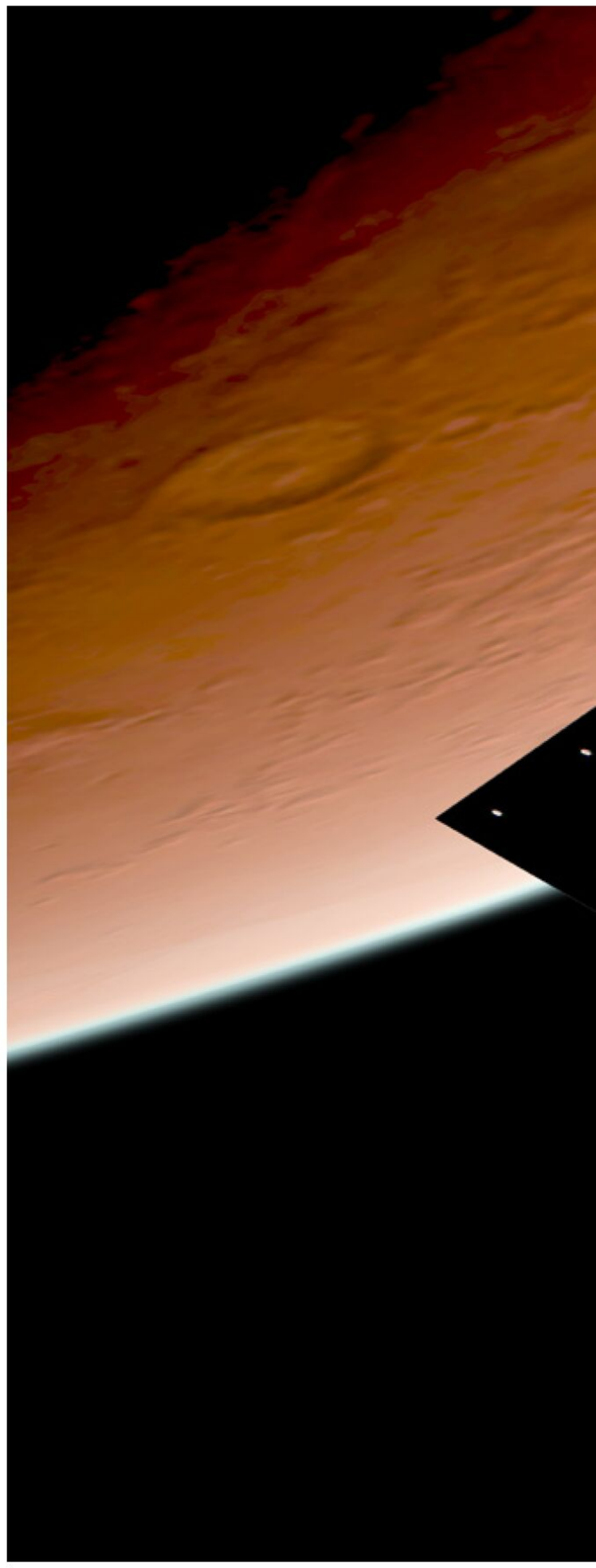
◀ Il cratere Stickney, su Phobos, è dedicato a Chloe Angeline Stickney Hall, matematica e moglie dell'astronomo Asaph Hall, scopritore delle lune marziane. Il suo diametro è circa la metà di quello di Phobos. L'impatto che ha generato il cratere ha probabilmente rischiato di frantumare la piccola luna

US NAVAL OBSERVATORY

▲ Il telescopio con cui nel 1877 l'astronomo Aleph Hall scoprì le due lune di Marte

NASA/JPL-CALTECH/MALIN SPACE SCIENCE SYSTEMS/TEXAS A&M UNIV.

◀ Occultazione di Deimos da parte di Phobos il 1° agosto 2013 vista dal rover Curiosity



NASA/JPL-CALTECH/MALIN SPACE SCIENCE SYSTEMS/TEXAS A&M UNIV.

JAXA

▲ La missione Mmx dell'Agenzia spaziale giapponese Jaxa ha tra gli obiettivi il recupero di campioni della superficie di Phobos da riportare sulla Terra. Una delle sfide principali sarà riuscire a posarsi sulla piccola luna, che ha una gravità pari a un millesimo di quella terrestre

◀ Eclisse anulare di Sole dovuta a Phobos e vista da Marte dal rover Curiosity nel 2013

Come Phobos, Deimos è bitorzoluto, fortemente craterizzato. I suoi crateri però hanno un diametro inferiore a 2,5 km e sono privi di solchi e creste che invece si vedono su Phobos. Quando viene colpito da altri oggetti non è in grado di trattenere i detriti che si sollevano, perché non ha una forza di gravità sufficiente. Li ritrova però lungo l'orbita e li raccoglie via via in uno strato polveroso sulla sua superficie.

Phobos e Deimos sono visibili da terra solo quando Marte è vicino all'opposizione e date le loro dimensioni non sono risolvibili con un telescopio. Keplero, nel Seicento, ne aveva previsto l'esistenza sulla base di un ragionamento tanto semplice quanto sbagliato, anche nelle premesse. La Terra evidentemente aveva un satellite, la Luna, e Giove quattro, i satelliti galileiani. Marte, che si trova tra la Terra e Giove, seguendo una progressione geometrica, doveva averne due. La scienza procede per intuizioni, ma ha sempre bisogno di verifiche. ■

# I MONDI DI GIOVE

TRE DELLE QUATTRO LUNE SCOPERTE DA GALILEO SOTTO UNA CROSTA GELIDA POTREBBERO NASCONDERE UN OCEANO LIQUIDO IN GRADO DI OSPITARE LA VITA. LA QUARTA È L'OGGETTO VULCANICAMENTE PIÙ ATTIVO DEL SISTEMA SOLARE

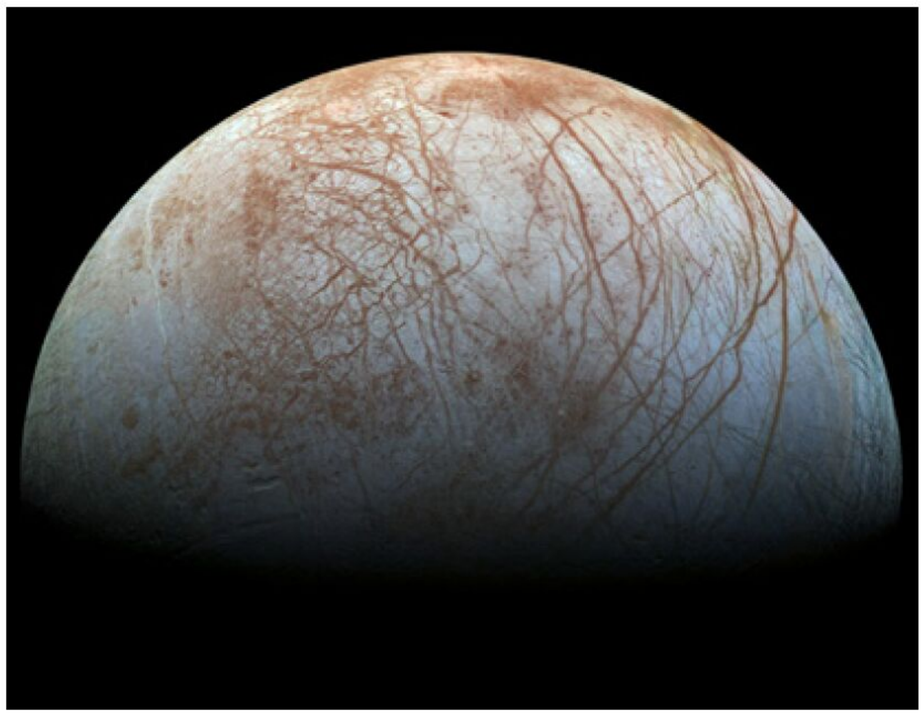
Le lune di Giove ufficialmente riconosciute dall'Unione astronomica internazionale sono novantacinque. Oltre alle quattro più grandi – Io, Europa, Ganimede e Callisto, scoperte da Galileo nel 1610 – ci sono i satelliti interni Metis, Adrastea, Amaltea e Tebe, che insieme a numerosi altri corpi più piccoli alimentano e stabilizzano il sistema di anelli del pianeta. Al di là dell'orbita di Callisto si trovano le altre, le più grandi delle quali sono probabilmente asteroidi catturati dall'enorme forza di gravità del pianeta e i più piccoli frammenti di collisioni. Ma sono migliaia gli oggetti in orbita intorno a Giove e gli scienziati sono sempre più bravi a scoprirne di nuovi.

Le quattro lune principali rendono conto di quasi tutta la massa del sistema gioviano di lune e anelli, sono tra le più grandi del Sistema solare e sono tra gli obiettivi più interessanti per lo studio dei pianeti e della vita. Io è la più interna delle quattro, è l'oggetto più attivo dal punto di vista geologico di tutto il Sistema solare, con centinaia di vulcani che eruttano lava fino a decine di chilometri di quota. La sua attività è il risultato dell'equilibrio dinamico tra le forze di gravità esercitate dal pianeta e dalle due lune esterne immediatamente vicine, Europa e Ganimede, con le quali orbita in risonanza. Queste ultime, insieme a Callisto, sono mondi ghiacciati che potrebbero nascondere oceani sotterranei in grado di ospitare qualche forma di vita. A loro è dedicata la missione Juice, dell'Agenzia spaziale europea, partita nel 2023 e destinata a raggiungere il sistema gioviano nel 2031. ■

◀ Ritratto di famiglia: Giove con la sua Grande macchia rossa e le quattro lune principali - Io, Europa, Ganimede e Callisto. L'immagine è un mosaico di foto e le distanze non sono in scala

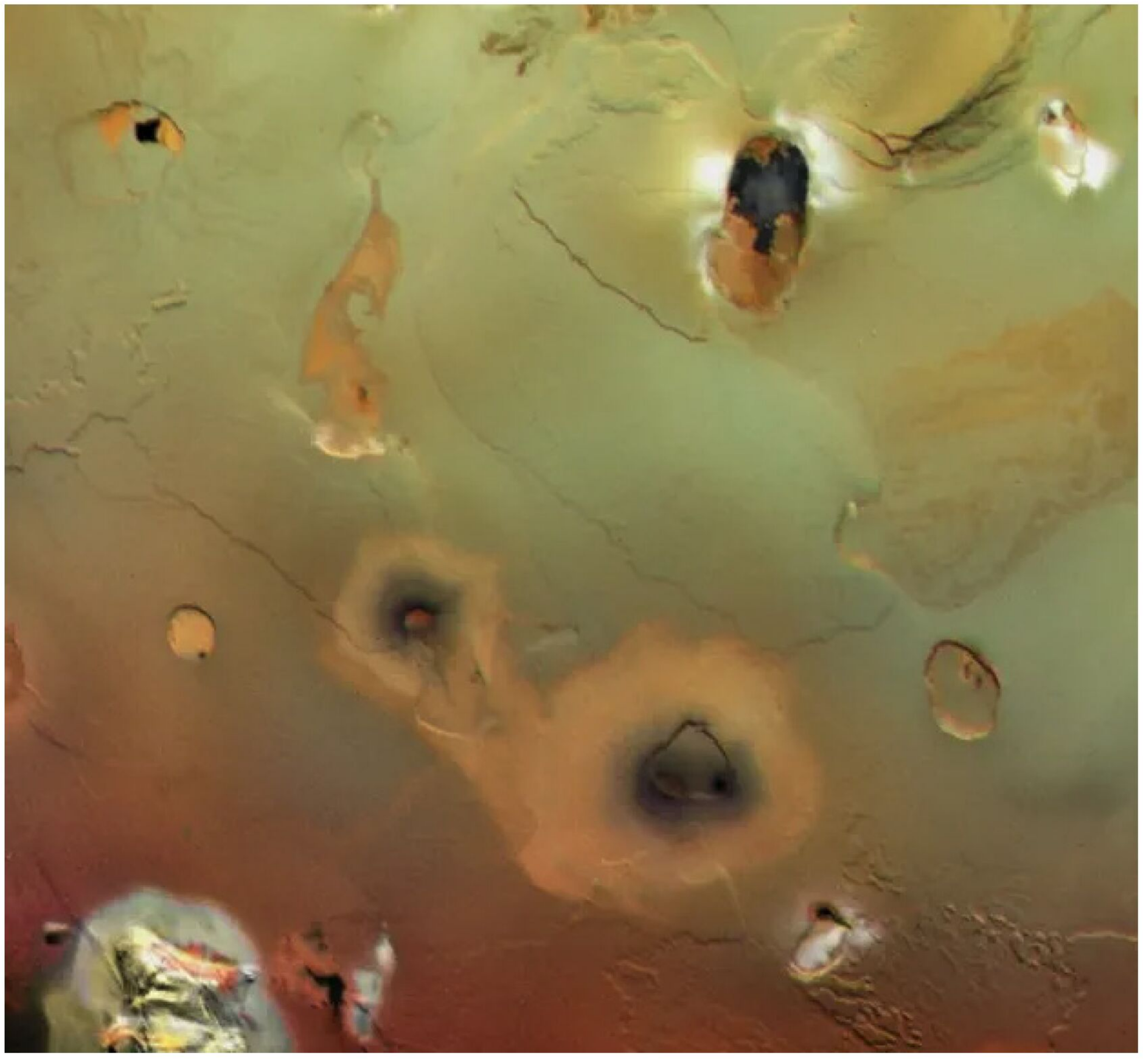
NASA/JPL/DLR

▼ Europa in un mosaico di immagini riprese dalla sonda Galileo negli anni Novanta e rielaborate per esaltare i colori. La scena mostra la straordinaria diversità della geologia superficiale della luna gioviana. Lunghe crepe e creste lineari attraversano la superficie, interrotte da regioni in cui la crosta di ghiaccio superficiale si è frantumata per consolidarsi e creare nuove forme



NASA/JPL-CALTECH/SETI INSTITUTE

NASA/JPL/USGS (X2)



◄▲ Grande poco più della nostra Luna, Io è il corpo celeste geologicamente più attivo del Sistema solare. I vulcani collassati formano grandi macchie scure sulla sua superficie

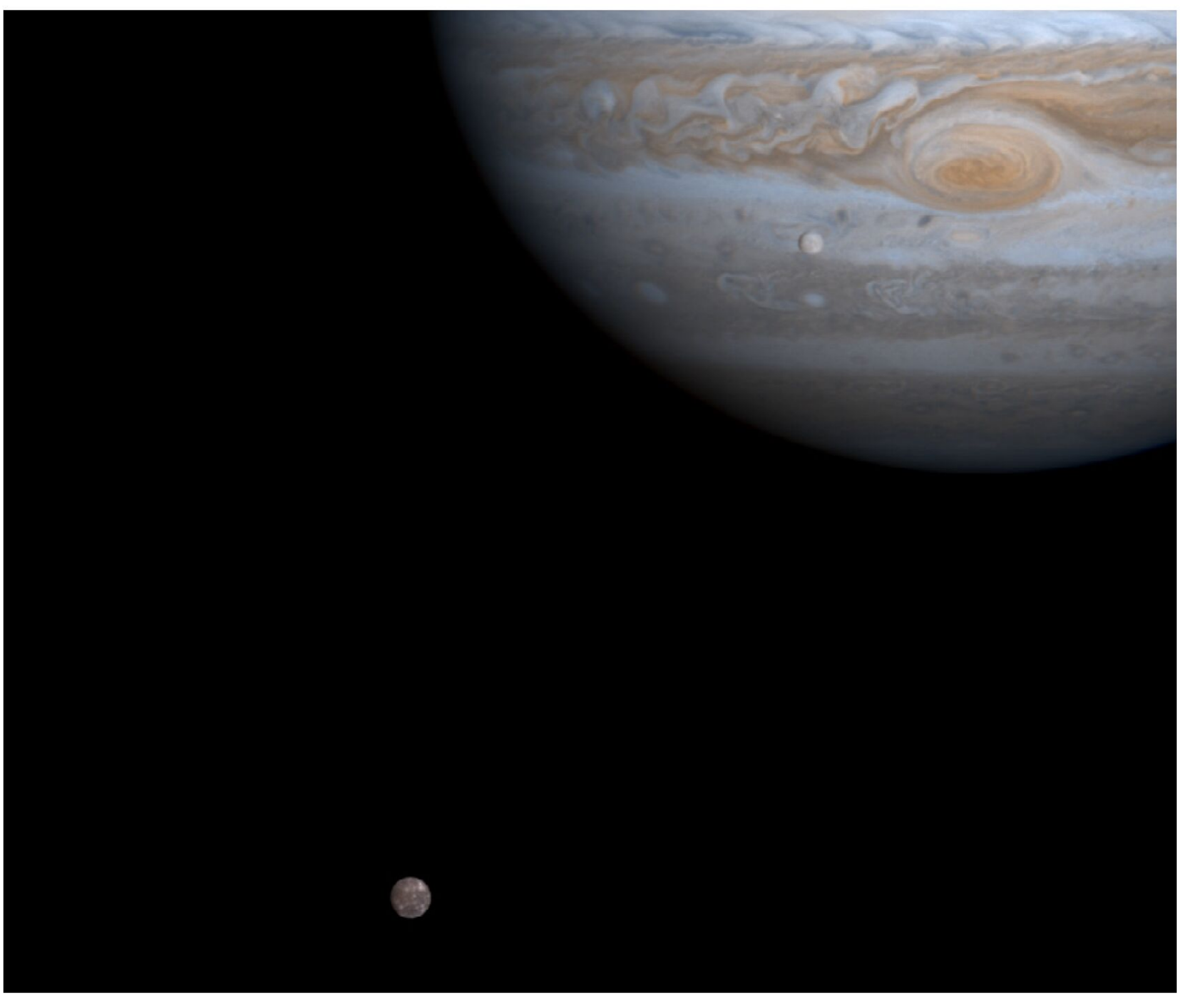
► La sonda Juno della Nasa il 25 febbraio 2022 ha ripreso questa immagine di Giove su cui è proiettata l'ombra di Ganimede. La sonda si trovava a 71.000 chilometri dal pianeta e la luna a oltre un milione di chilometri. La foto è il risultato dell'elaborazione a opera di Thomas Thomopoulos, astrofilo e *citizen scientist*, a partire dai dati dello strumento JunoCam, che sono a disposizione del pubblico per essere consultati ed elaborati

NASA/JPL-CALTECH/SWRI/MSSS. ELABORAZIONE: THOMAS THOMOPOULOS

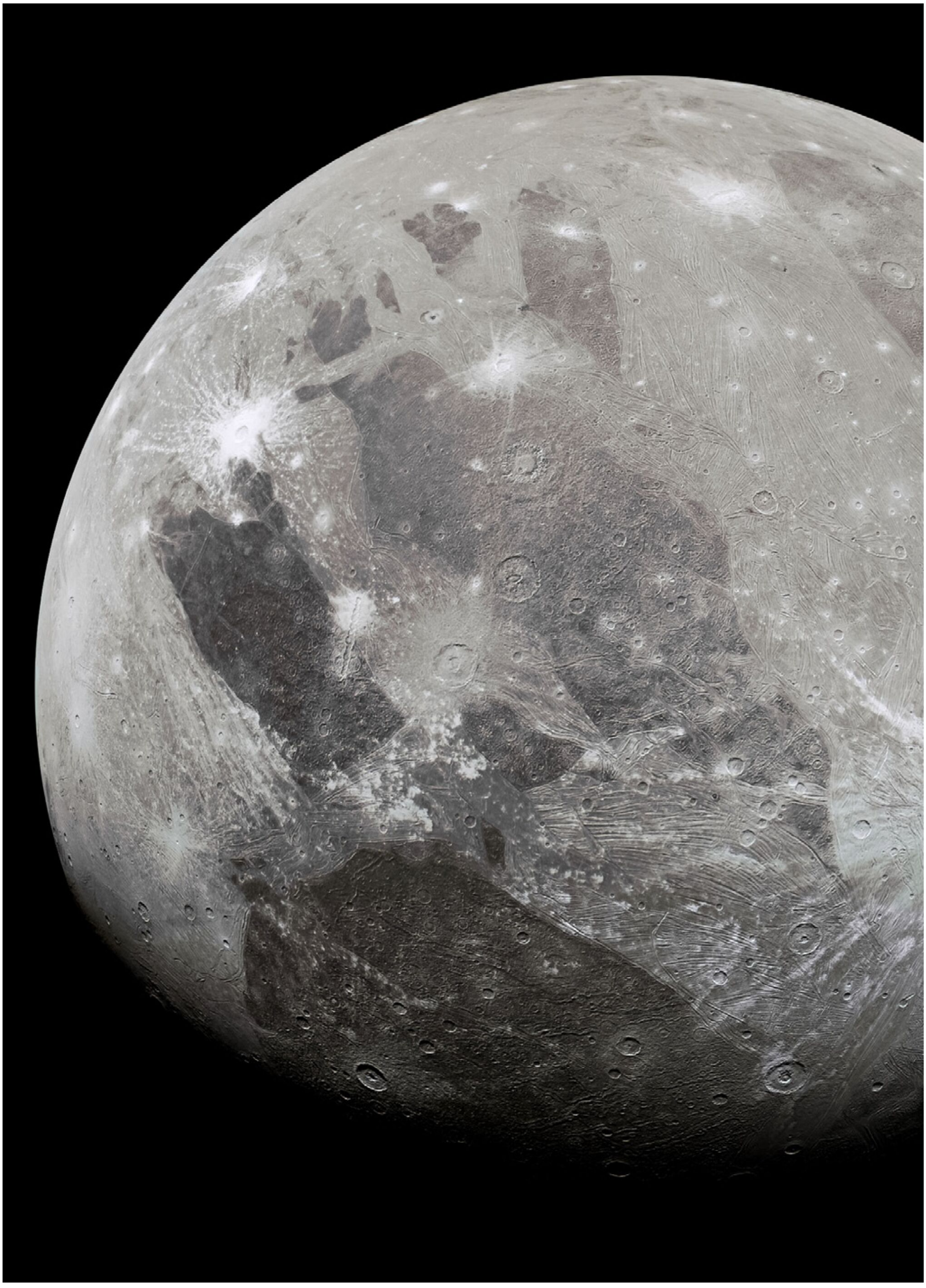
◀ Callisto è la seconda luna più grande di Giove e la terza del Sistema solare. La sua superficie ha più crateri di qualsiasi altro oggetto nel Sistema solare. Potrebbe ospitare un oceano salato, forse in grado di interagire con la componente rocciosa della luna e creare un potenziale habitat per la vita

▶ Ganimede è la più grande luna del Sistema solare. Supera per dimensioni Mercurio e Plutone. Il suo oceano sotterraneo potrebbe contenere più acqua di quanta ne ospiti la Terra in superficie. Per quanto ne sappiamo, è l'unica ad avere un campo magnetico, che produce aurore ai poli

▶ Europa e Callisto riprese dalla sonda Cassini nel 2000. Le due lune sono allineate tra loro e con il centro di Giove. Europa, sul disco del pianeta nei pressi della Grande macchia rossa, si trova a circa 600.000 chilometri dalla sommità delle nubi di Giove. Callisto, in basso a sinistra, è lontana circa tre volte tanto



NASA/JPL/UNIVERSITY OF ARIZONA



NASA/JPL-CALTECH/SWRI/MSSS. ELABORAZIONE: KEVIN M. GILL

# ENCELADO, TITANO E TUTTE LE ALTRE

SATURNO PULLULA DI LUNE DALLE DIMENSIONI PIÙ DIVERSE E LE FORME PIÙ STRANE. NOVE LE PRINCIPALI, DUE POTREBBERO OSPITARE LA VITA. LA SONDA CASSINI CI HA SVELATO MOLTI DEI LORO SEGRETI



NASA/JPL-CALTECH/SPACE SCIENCE INSTITUTE

◀ Iperione è la più grande delle lune irregolari di Saturno. La sua forma lascia pensare che si tratti del residuo di una luna più grande distrutta da un violento impatto

▼ La luna ghiacciata Rea, la seconda per grandezza tra le lune di Saturno, transita davanti a Titano. Le differenze: Rea è coperta di crateri e priva di atmosfera, mentre Titano è coperta da una coltre di azoto più spessa dell'atmosfera terrestre

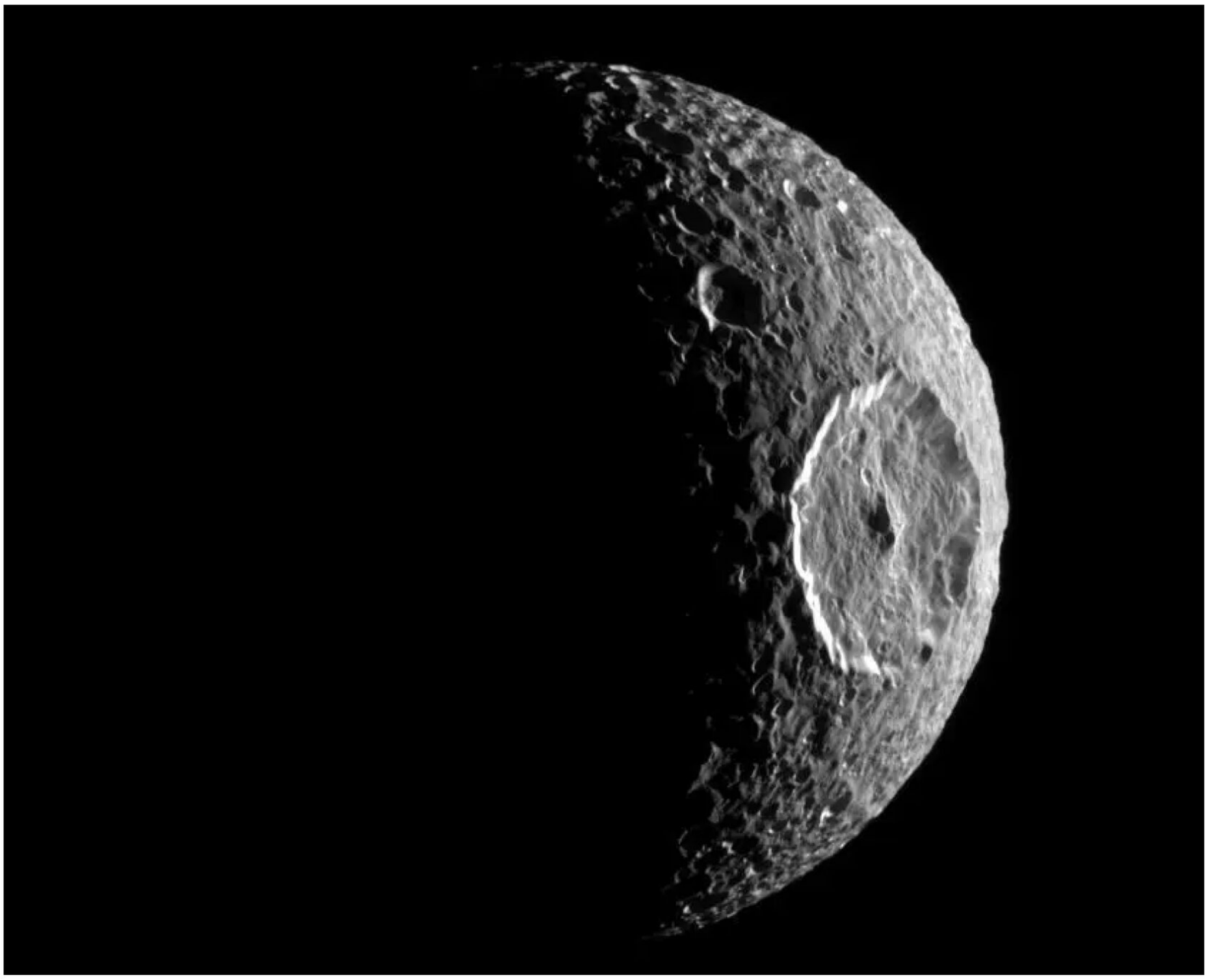
Saturno è il pianeta più ricco di lune in tutto il Sistema solare. Sono nove le principali, otto delle quali sono state scoperte con osservazioni dirette al telescopio: Titano nel 1655 da Christiaan Huygens; Teti, Dione, Rea e Giapeto tra il 1671 e il 1684 da Gian Domenico Cassini; Mimas e Encelado nel 1789 da William Herschel; Iperione nel 1848 da William Cranch Bond. Febe, la nona, è stata individuata grazie a una lastra fotografica a lunga esposizione nel 1899 da William Henry Pickering. Telescopi sempre più grandi, metodi di indagine più sofisticati e sonde spaziali come Voyager e poi Cassini hanno permesso via via di scoprirne altre. Oggi se ne contano 146 con un'orbita stabile. Tra queste, oltre sessanta sono state individuate grazie a un solo studio del 2023 dell'Accademia sinica di Taiwan.

## La più grande

Con un diametro di 5150 chilometri, Titano è il satellite naturale più grande del Sistema solare dopo Ganimede. È più grande di Mercurio ed è composto da ghiaccio d'acqua e roccia. Sulla sua superficie si trova metano in forma solida, liquida e gassosa, che attraversa un ciclo idrologico completo come quello dell'acqua sulla Terra: evapora, condensa, forma nubi e ritorna sulla superficie sotto forma di pioggia, dando luogo a torrenti, sorgenti e laghi.

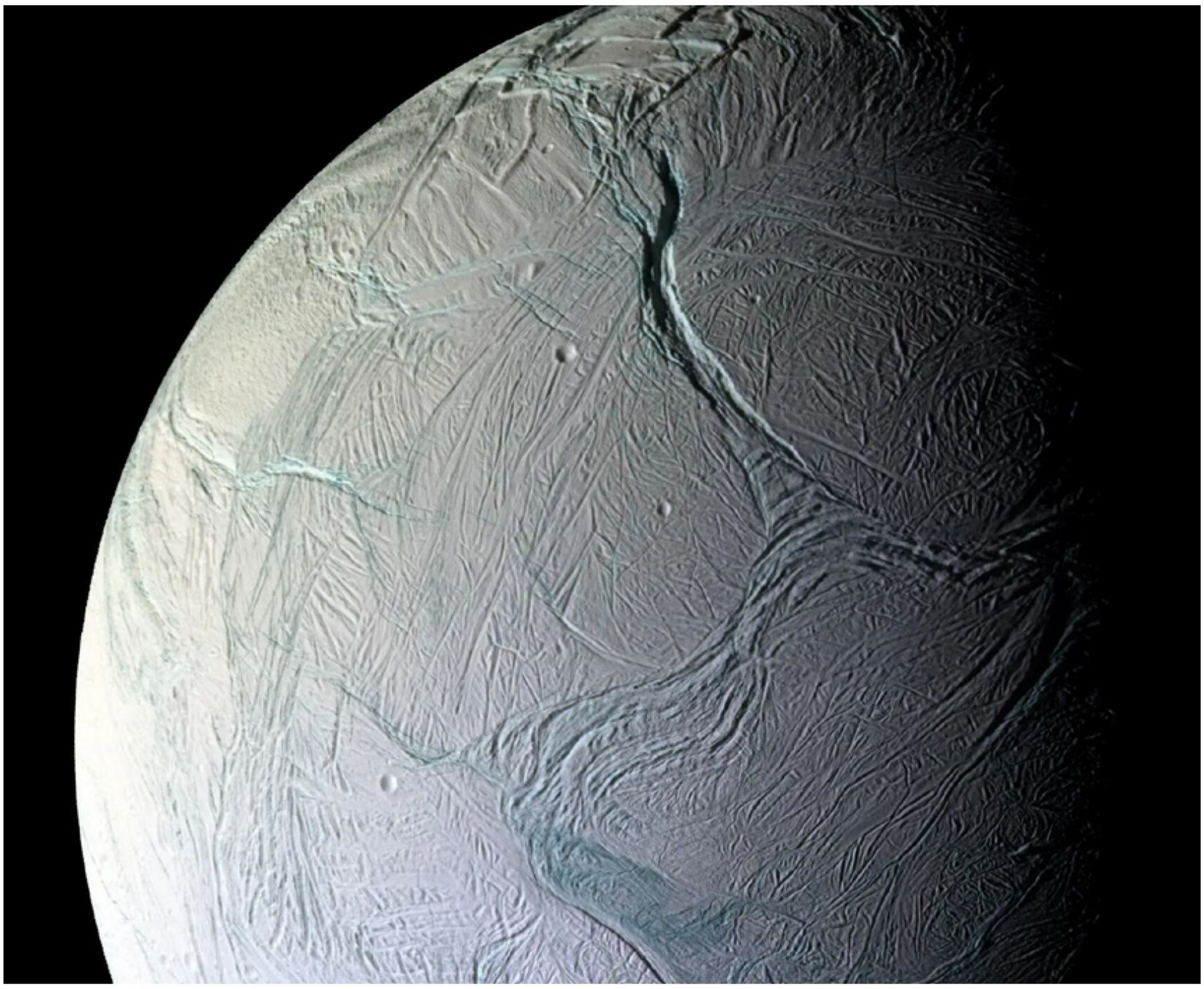
Titano è l'unica luna tra quelle conosciute ad avere un'atmosfera densa, composta per il 95% da azoto. Ha una superficie geologicamente giovane, con pochi crateri da impatto. Ricorda la ▶

NASA/JPL-CALTECH/SPACE SCIENCE INSTITUTE



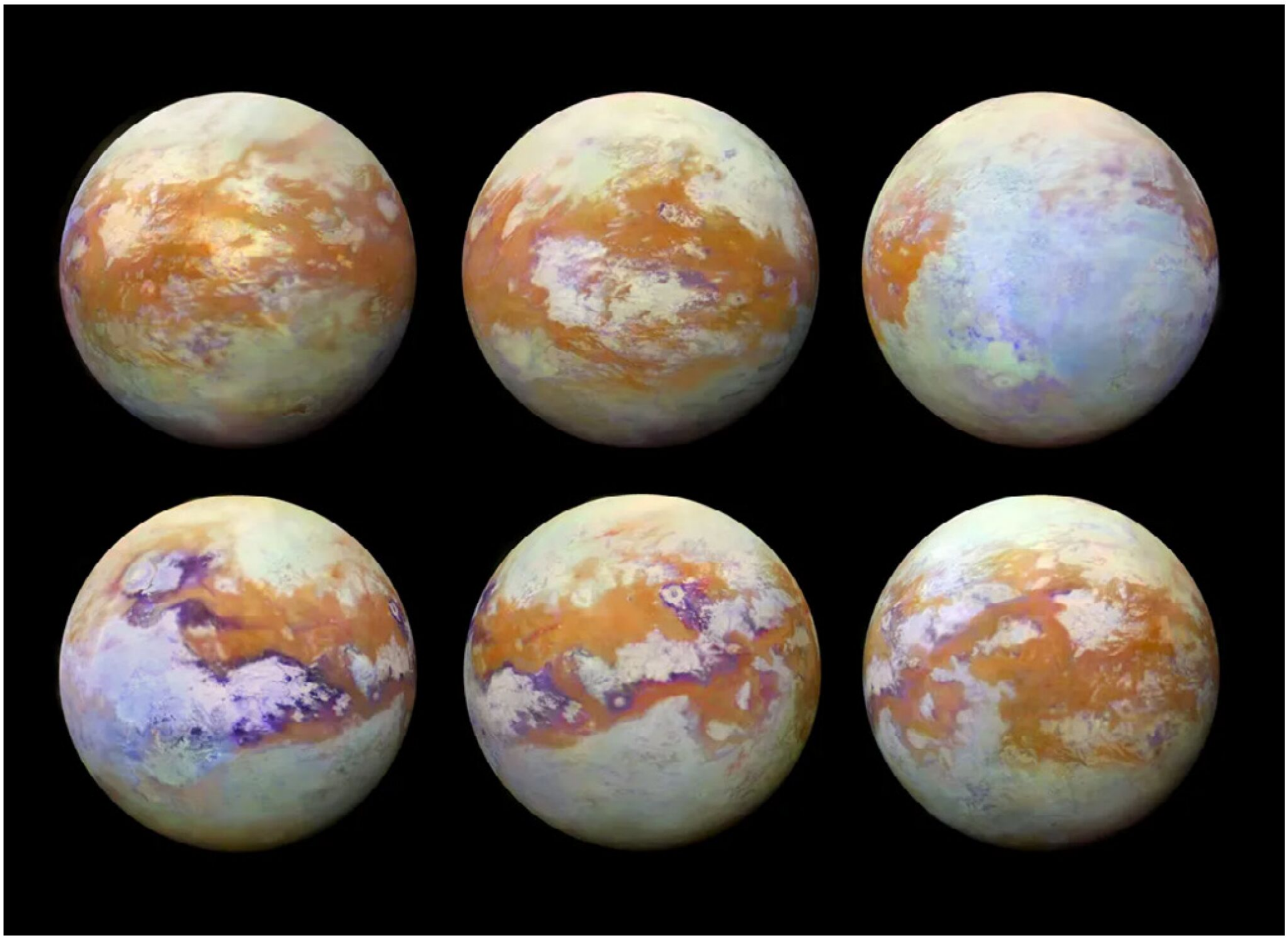
NASA/JPL-CALTECH/SPACE SCIENCE INSTITUTE

◀ Con un raggio medio di 198 chilometri, Mimas è la più piccola e la più interna delle lune maggiori di Saturno. Non è abbastanza massiccia da avere ottenuto una forma sferica. La sua bassa densità suggerisce che sia costituita quasi interamente da ghiaccio d'acqua



NASA/JPL/SPACE SCIENCE INSTITUTE

▶ Encelado ripresa dalla sonda Cassini nel 2008 da una distanza di circa 25 chilometri dalla superficie



NASA/JPL-CALTECH/STÉPHANE LE MOUÉLIC, UNIVERSITY OF NANTES, VIRGINIA PASEK, UNIVERSITY OF ARIZONA

Terra primordiale, ma con una temperatura media di -180°C. Le analisi hanno dimostrato che ha un guscio ghiacciato relativamente rigido.
Visitata nel 2015 dalla sonda Huygens, compagna di Cassini, sarà l'obiettivo della futura missione Dragonfly, che prevede l'uso di un drone alimentato da un generatore a radioisotopi (i pannelli fotovoltaici non riescono a catturare abbastanza luce vista la distanza dal Sole e l'opacità dell'atmosfera) per compiere studi di astrobiologia.

## Piccola e vivace

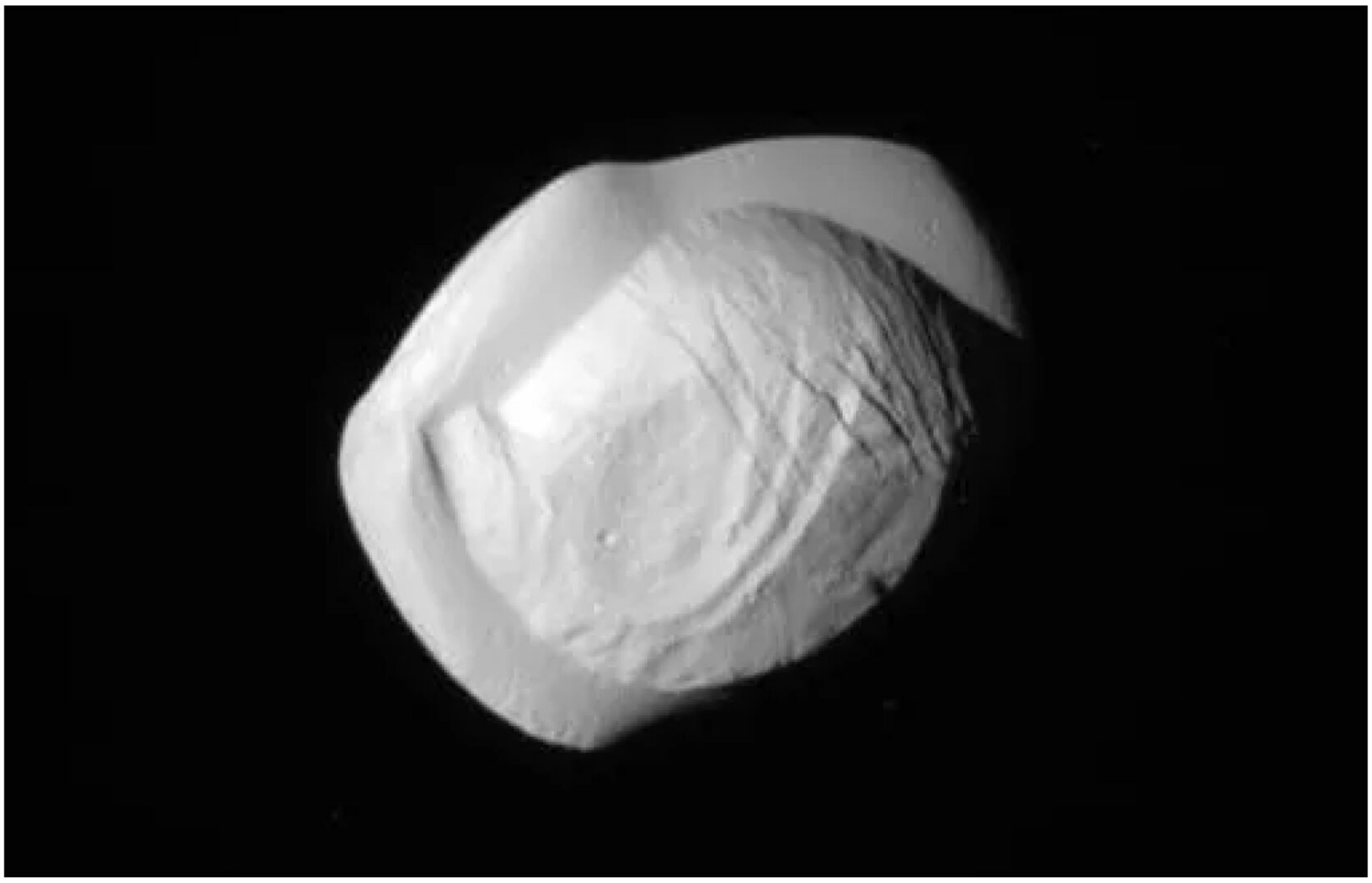
A destare particolare interesse tra le lune di Saturno è senza dubbio Encelado. Su questo mondo ghiacciato da 500 chilometri di diametro la sonda Cassini nel novembre 2005 ha scoperto numerosi getti simili a geyser, che lanciano nello spazio vapore acqueo e particelle di ghiaccio, alimentando l'anello E del pianeta. Lo studio delle particelle espulse ha permesso di scoprire che Encelado possiede la maggior parte degli ingredienti chimici necessari alla vita e il suo oceano sotterraneo forse ospita bocche idrotermali non diverse da quelle sui fondali terrestri che rilasciano acqua calda e ricca di minerali.

▲ Osservare la superficie di Titano nella regione visibile dello spettro luminoso è difficile per via dello strato di aerosol che avvolge la luna. Le riprese nell'infrarosso, come queste della sonda Cassini, ne evidenziano invece le caratteristiche geologiche

Per indagare da vicino, la Nasa ha in programma per gli anni 2030 la missione Enceladus Orbilander, che prevede una prima fase in orbita per il campionamento dei pennacchi ghiacciati e una seconda in superficie, alla ricerca di eventuali tracce di vita.

## Polvere di lune

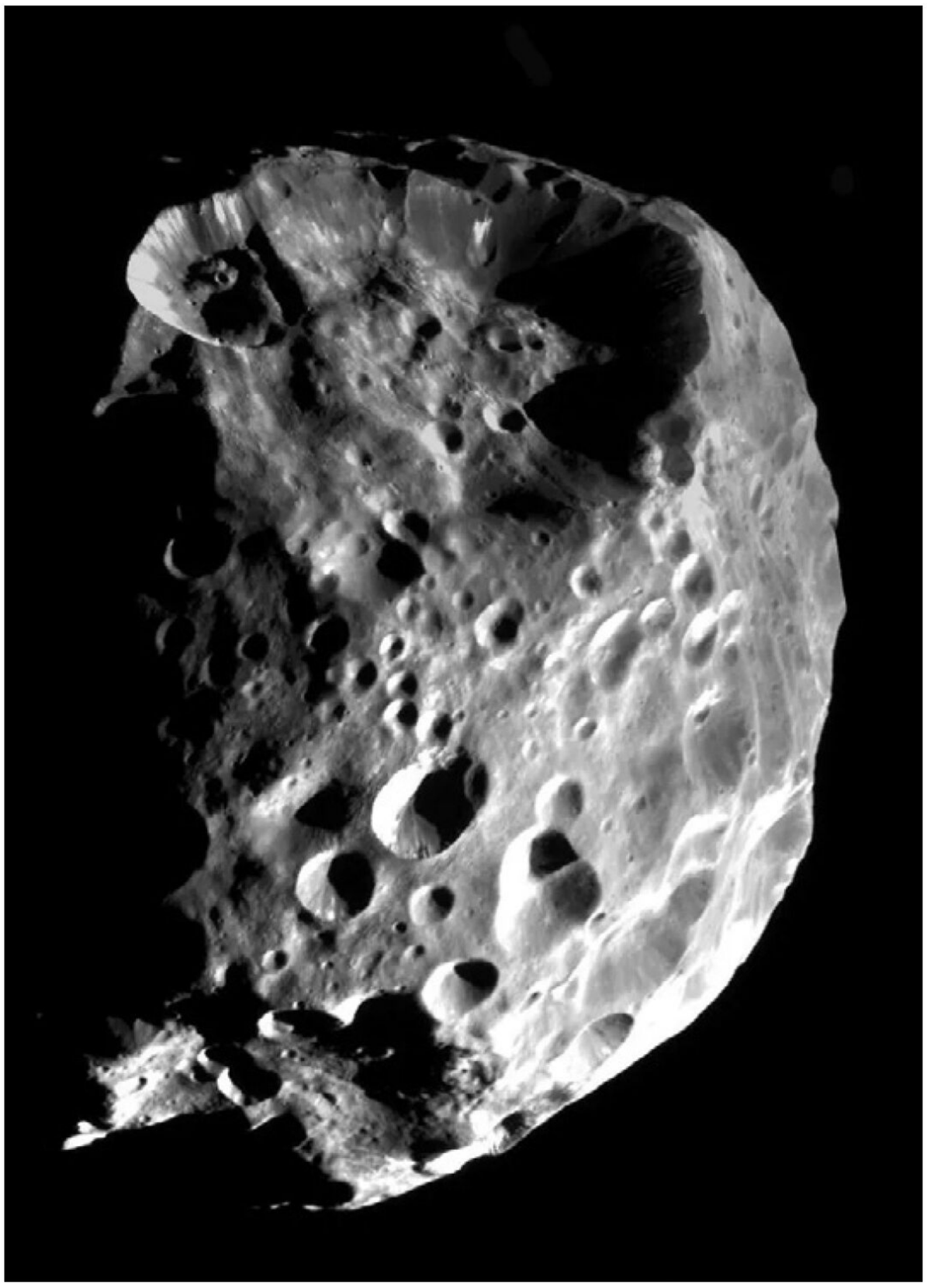
La sonda Cassini ha rivelato che otto dei nove satelliti principali di Saturno sono ricoperti da polvere. Fa eccezione Titano, protetta dalla sua atmosfera. Per le lune interne come Mimas, Tetide, Dione e Rea, la causa è da cercare nelle particelle ghiacciate emesse da Encelado.
Febe è invece con ogni probabilità la fonte della polvere che si accumula sulle lune esterne. Nella sua orbita retrograda viene colpita più violentemente da particelle che seguono un percorso diretto e ne erodono la superficie. Le differenze nei dati spettroscopici tra Febe, Giapeto e Iperione fanno però pensare che esistano anche altre fonti. Cassini ha osservato che i satelliti più piccoli esterni a Febe, con orbite retrograde, potrebbero contribuire alla formazione dello strato scuro che ricopre Giapeto e le altre lune. ■

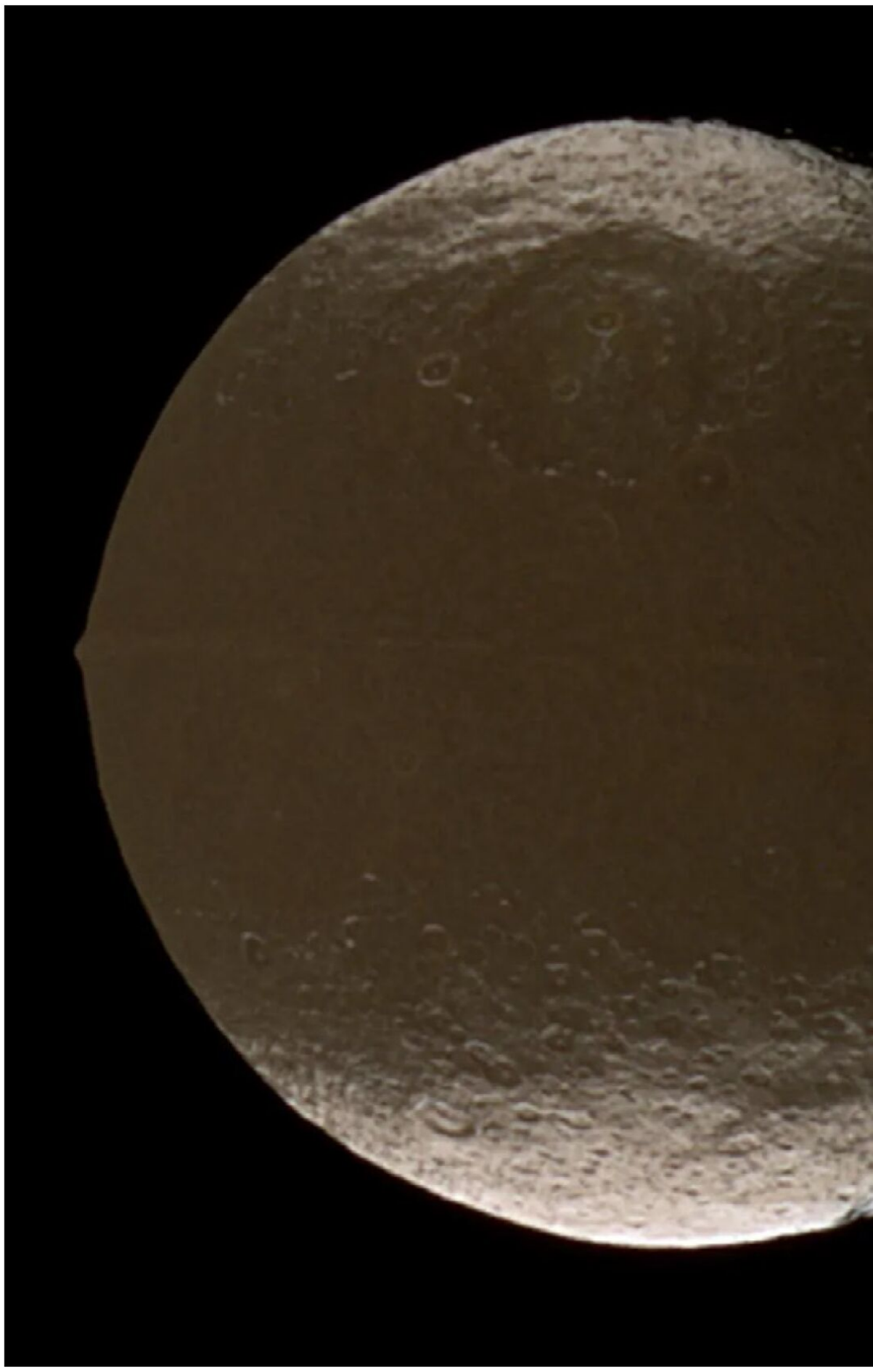


NASA/JPL-CALTECH/SPACE SCIENCE INSTITUTE

◀ Si ritiene che la caratteristica cresta intorno a Pan si sia formata quando la luna aveva già "pulito" la zona di separazione tra gli anelli di Saturno in cui si trova oggi. Il materiale residuo si è accumulato all'equatore e la poca gravità della luna non ha permesso di distribuirlo

▼ La luminosità di Giapeto cambia drasticamente da un emisfero all'altro





▲ Febe orbita a 12.952.000 chilometri da Saturno, quasi quattro volte la distanza che separa il pianeta da Giapeto, la vicina più prossima. Febe e Giapeto sono le uniche lune principali di Saturno che non orbitano sul piano dell'equatore del pianeta

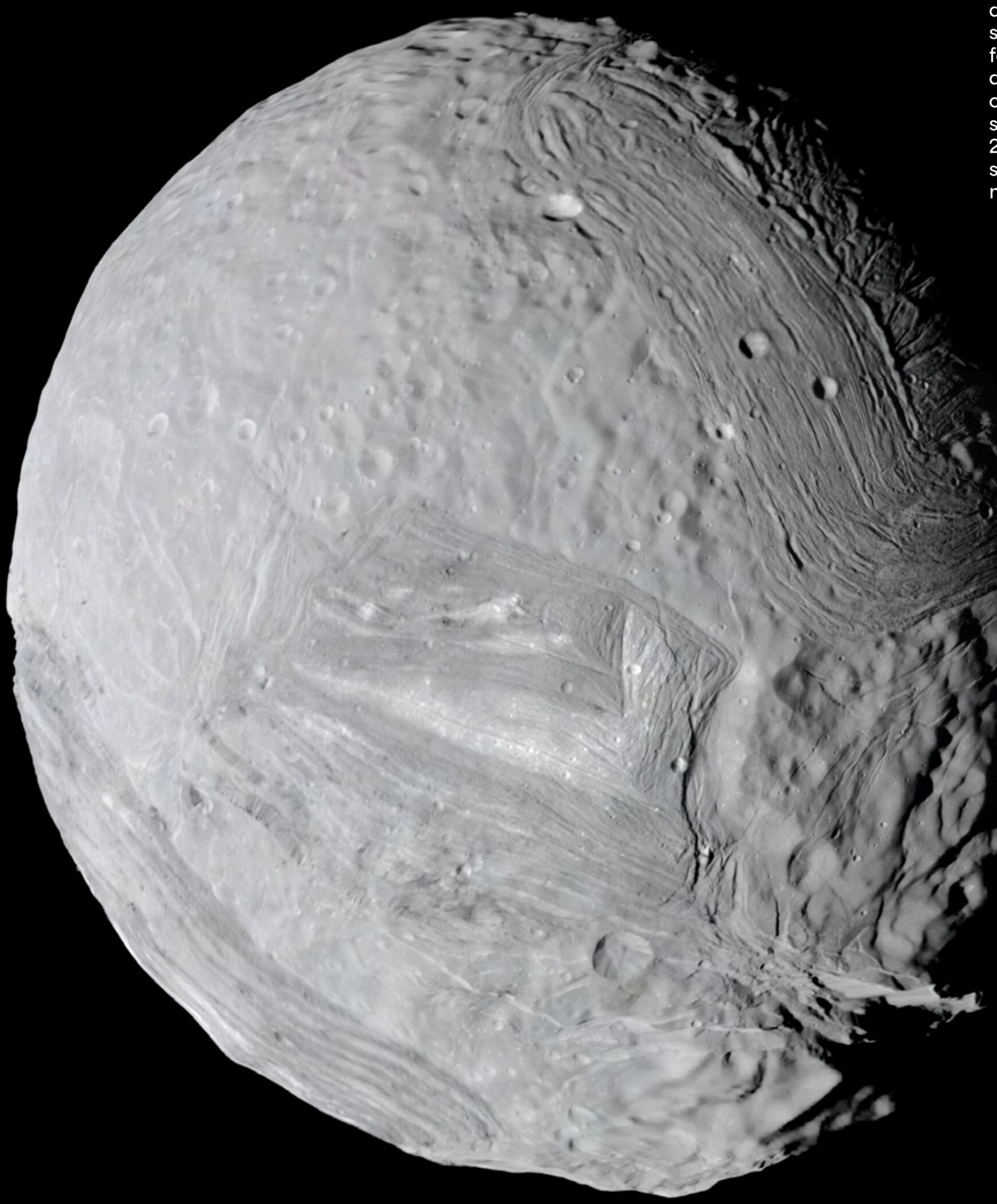
NASA/JPL-CALTECH/SPACE SCIENCE INSTITUTE

◀ Nel 2005, la sonda Cassini ha scoperto i getti di vapore e ghiaccio emessi dalla superficie di Encelado a circa 400 metri al secondo. Le eruzioni sembrano essere continue e generano un enorme alone di polvere di ghiaccio intorno alla luna. La maggior parte ricade come neve sulla superficie della luna, contribuendo a mantenere la superficie di Encelado bianco brillante e molto riflettente

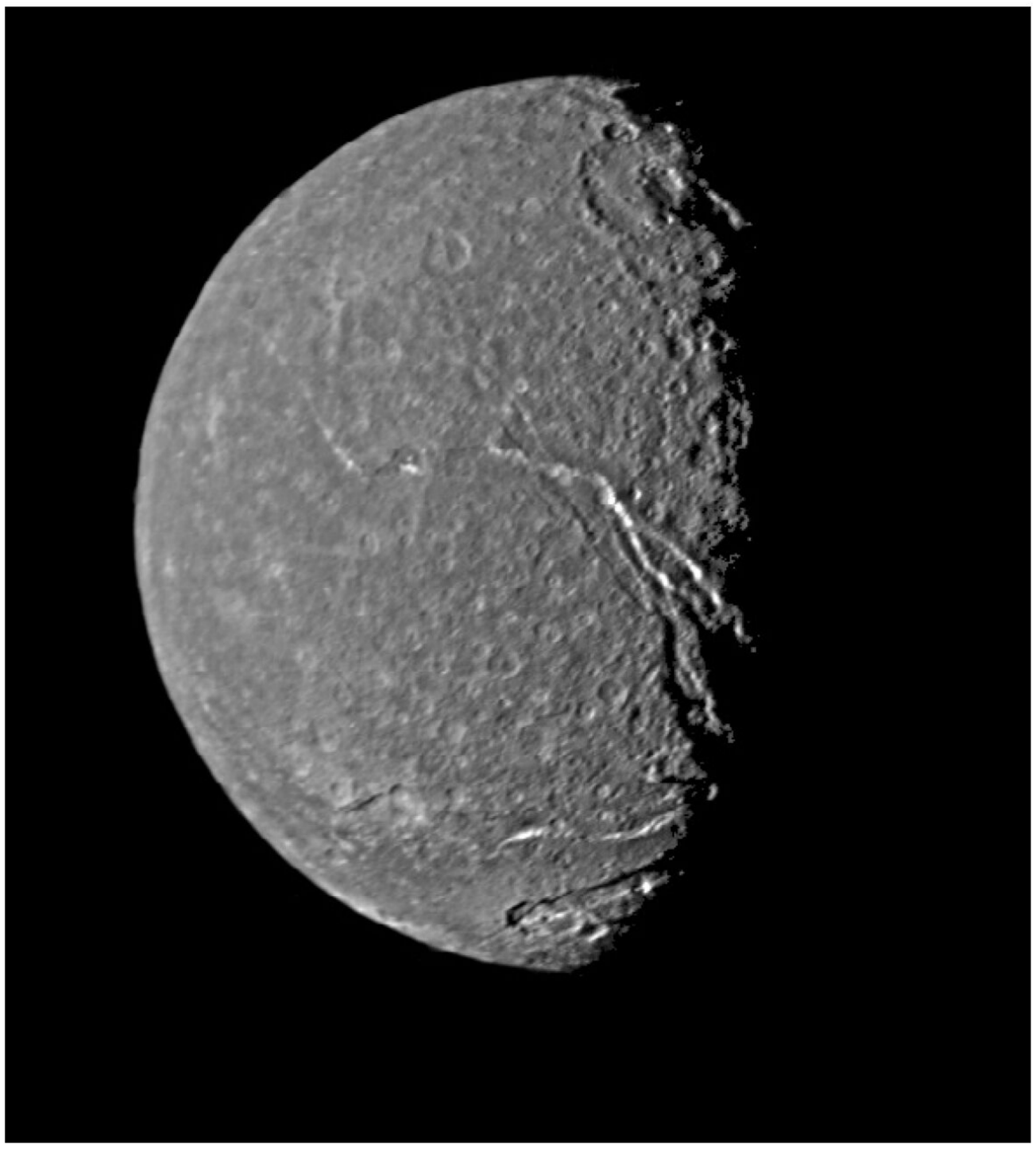
NASA/JPL-CALTECH/SPACE SCIENCE INSTITUTE

# SATELLITI DI PERIFERIA

## I DUE PIANETI PIÙ ESTERNI DEL SISTEMA SOLARE, URANO E NETTUNO, E IL LORO VICINO PIANETA NANO PLUTONE OSPITANO IN TUTTO QUARANTOTTO LUNE



Il polo sud di Miranda, satellite di Urano, fotografato a una distanza di 480 chilometri dalla sonda Voyager 2 durante il suo sorvolo di Urano nel gennaio 1986



NASA/JPL

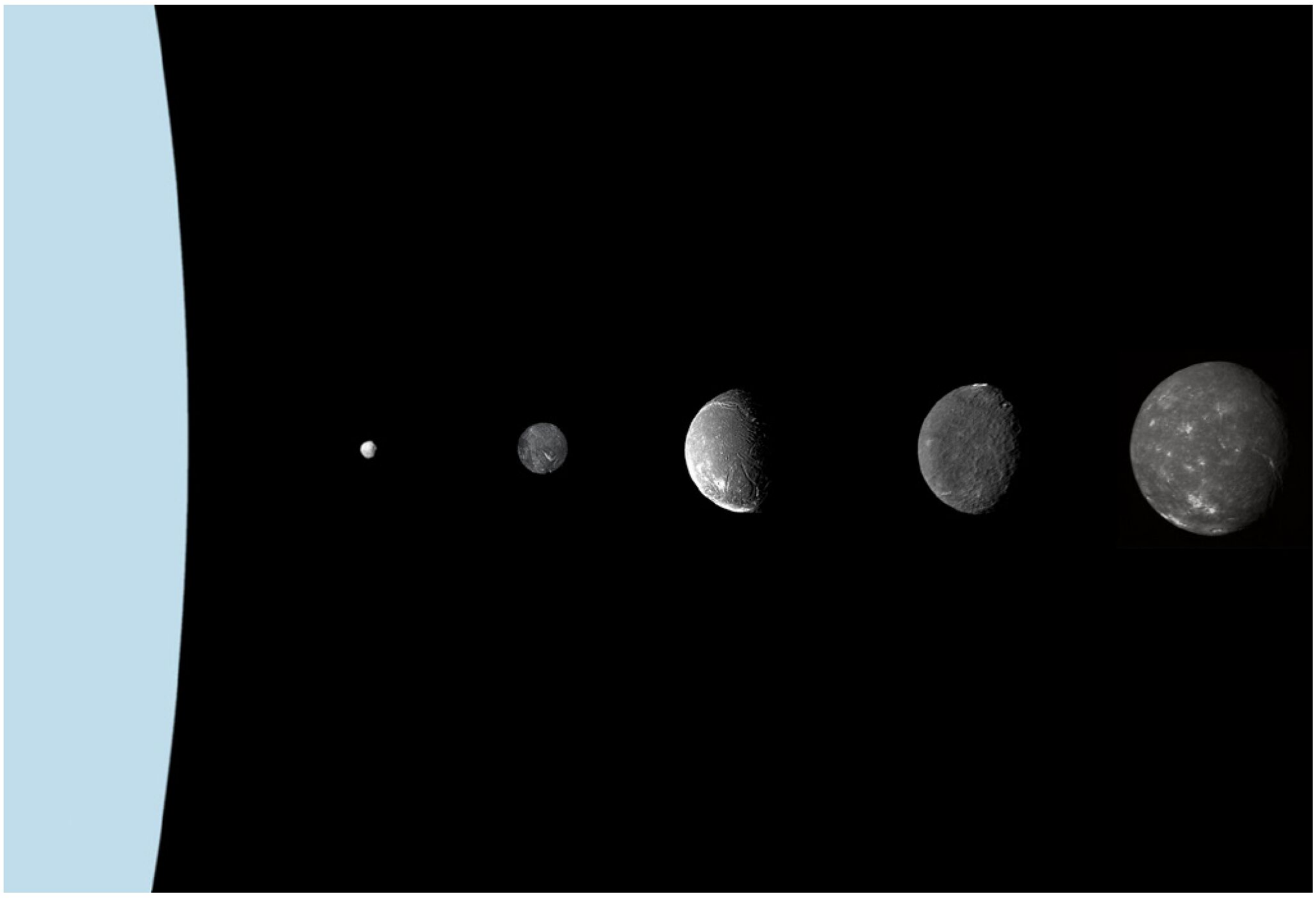
# URANO, VISIBILE A OCCHIO NUDO

Urano è il settimo pianeta del sistema solare in ordine di distanza dal Sole. Terzo per diametro e quarto per massa, è il primo pianeta a essere stato scoperto con l'aiuto di un telescopio (da Wilhelm Herschel nel 1781), ma in condizioni particolarmente favorevoli è visibile anche a occhio nudo. A differenza di tutti gli altri, ruota lungo un asse quasi parallelo al piano dell'orbita, mostrando al Sole entrambi i poli durante una rivoluzione.

I satelliti naturali conosciuti di Urano sono oggi ventisette e portano tutti i nomi di personaggi delle opere di William Shakespeare e Alexander Pope. I principali giacciono su orbite regolari e inclinate come il pianeta, il che suggerisce che si siano formati da un disco di materiale nei pressi del pianeta.

◀ Titania è la più grande delle lune di Urano e l'ottava del Sistema solare. Fu scoperta da William Herschel nel 1787

▼ Le dimensioni di Urano e dei suoi satelliti: da sinistra Puck, Miranda, Ariel, Umbriel, Titania, Oberon. Le distanze non sono in scala

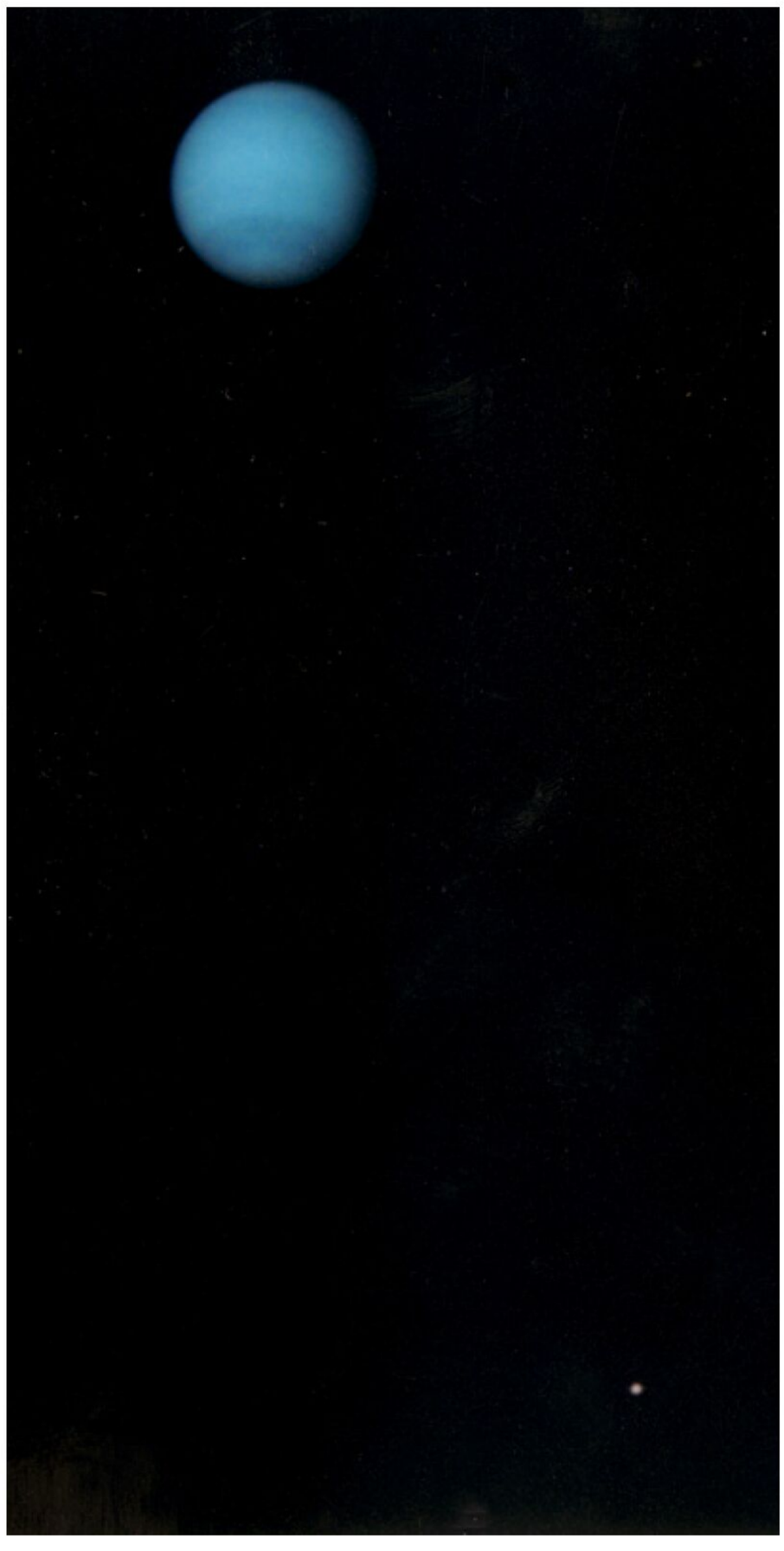


NASA/JPL

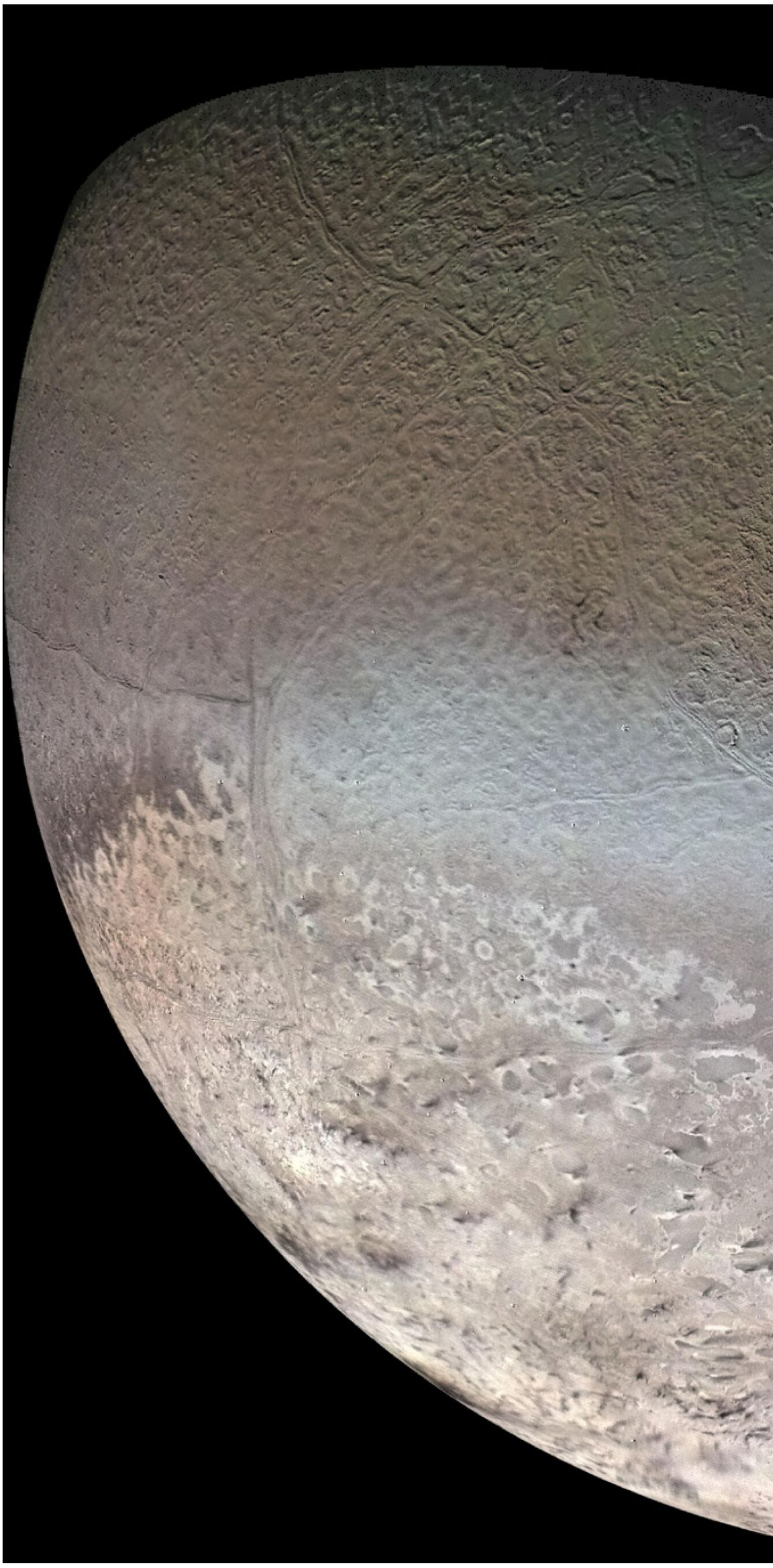
# NETTUNO, SFUGGITO A GALILEO

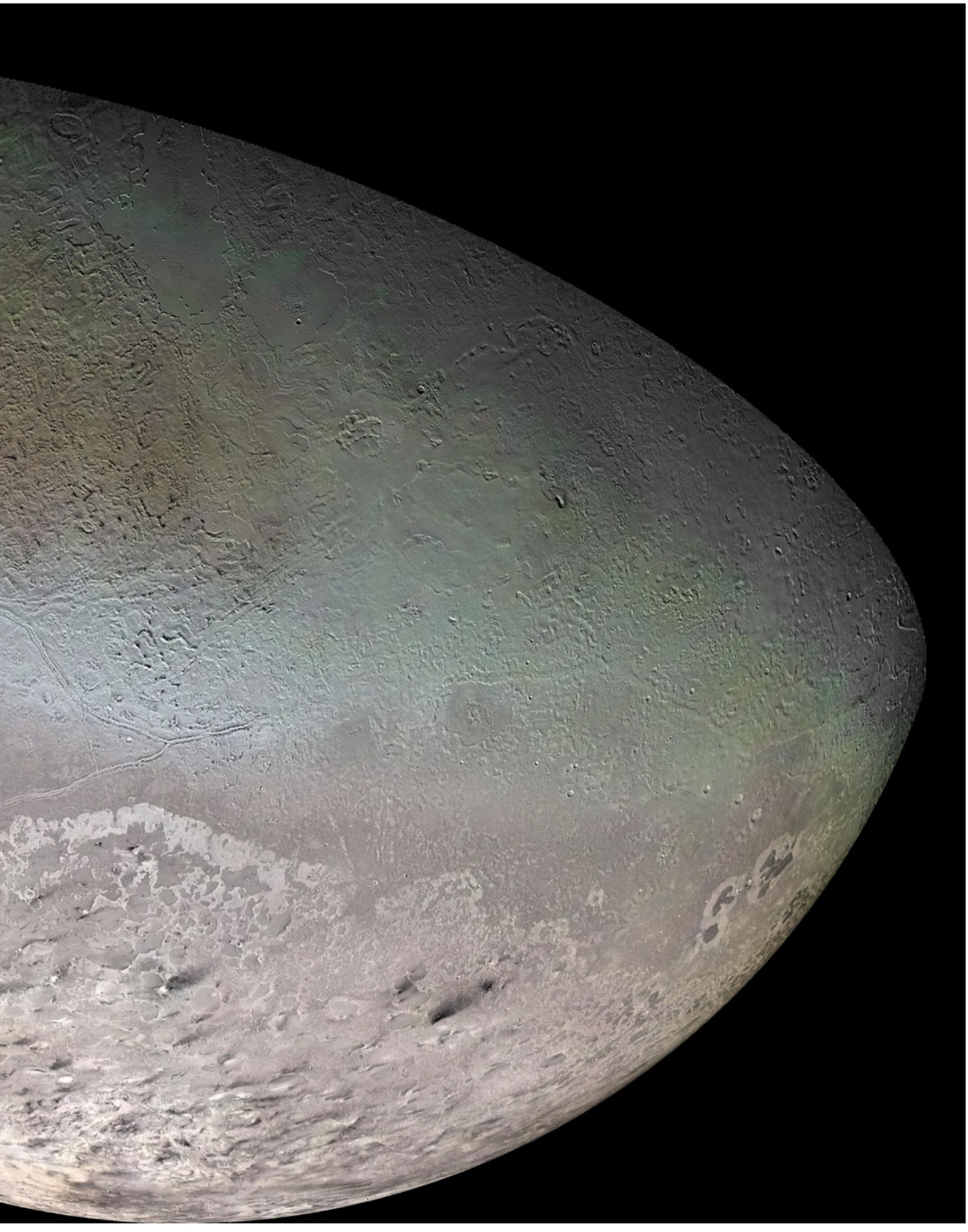
Ultimo pianeta in ordine di distanza dal Sole, quasi-gemello di Urano per dimensioni e probabile composizione del nucleo, Nettuno è stato individuato nel 1846 da Johann Gottfried Galle e Heinrich Ludwig d'Arrest, dell'Osservatorio di Berlino, sulla base delle previsioni di John Adams e Urbain Le Verrier. Fu osservato forse anche da Galileo, che però non si rese conto che era un pianeta.
Ha due satelliti principali, Tritone e Nereide, e almeno altri quattordici più piccoli. La maggior parte di questi ha orbite molto eccentriche e inclinate rispetto al piano dell'orbita, il che fa pensare che siano oggetti catturati dall'attrazione gravitazionale del pianeta.

▼ Nettuno e Tritone fotografati da Voyager 2 a una distanza di 76 milioni di chilometri



► Mosaico di foto di Tritone, ripreso nel 1989 da Voyager 2 durante il sorvolo del sistema di Nettuno





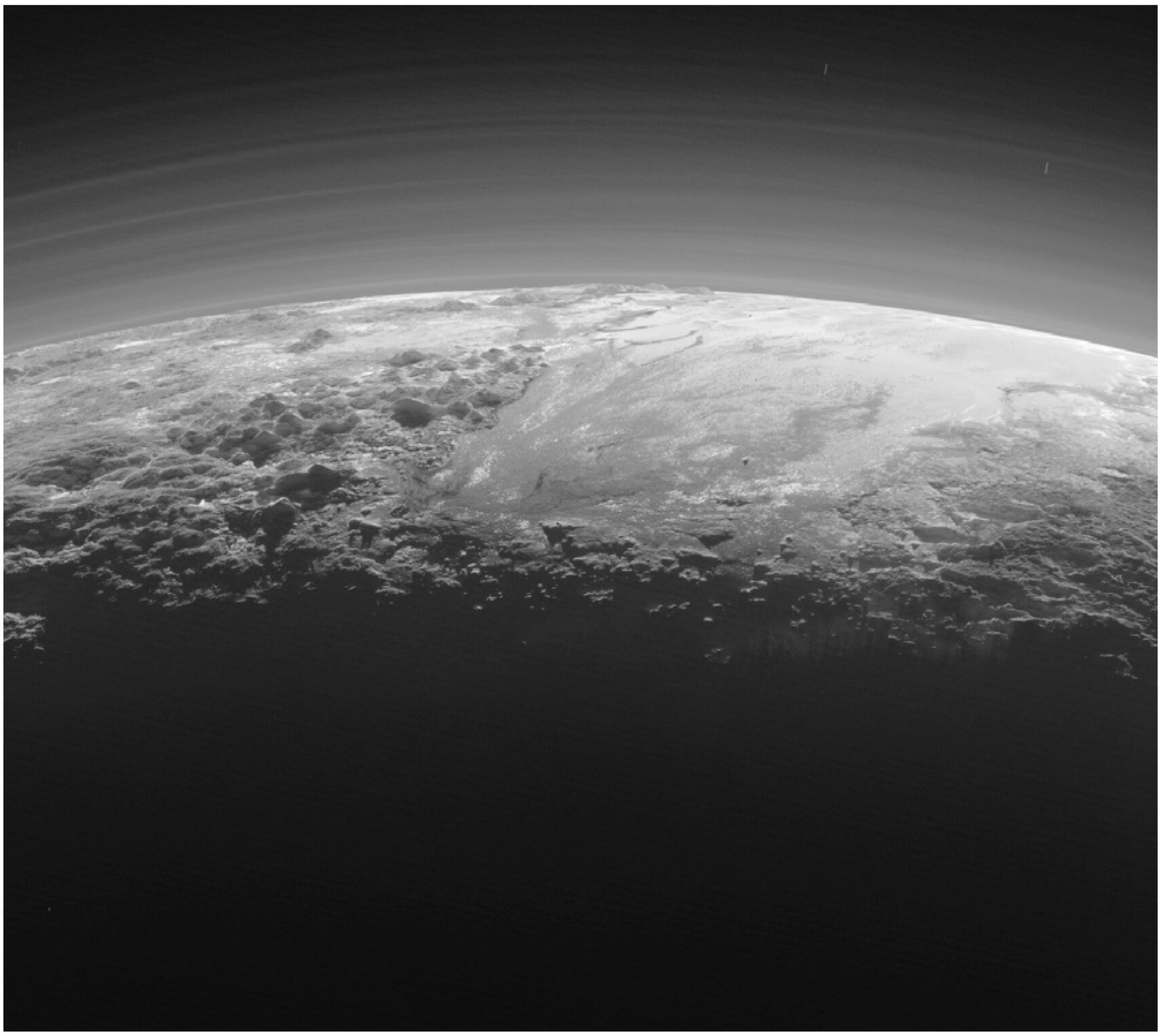
NASA/JPL/USGS

# PLUTONE E CARONTE SISTEMA DOPPIO

Scoperto nel 1930 da Clyde Tombaugh, che aveva raccolto il testimone da Percival Lowell alla caccia di un pianeta al di là di Nettuno, Plutone è stato classificato come pianeta nano nel 2006 dall'Unione astronomica internazionale. È più piccolo dei maggiori satelliti naturali nel Sistema solare: i quattro satelliti galileiani di Giove, Titano, la luna di Nettuno Tritone e la nostra Luna. Rispetto a quest'ultima ha volume pari a un terzo e massa pari a un sesto.

Plutone a sua volta ha cinque satelliti. Il più grande, Caronte, ha un diametro superiore alla metà di quello di Plutone stesso: è la più grande luna conosciuta rispetto al suo pianeta madre nel Sistema solare e insieme a Plutone forma un pianeta doppio, il cui baricentro è esterno a entrambi i corpi celesti. Le altre lune di Plutone sono: Notte, Idra, Cerbero e Stige.

▲ Plutone e Caronte in confronto alla Terra



◀ Montagne, pianure ghiacciate e nebbie di Plutone fotografate dalla sonda New Horizons della Nasa il 14 luglio 2015. La distesa liscia della pianura ghiacciata Sputnik Planitia (a destra) è fiancheggiata a ovest (a sinistra) da montagne alte fino a 3500 metri

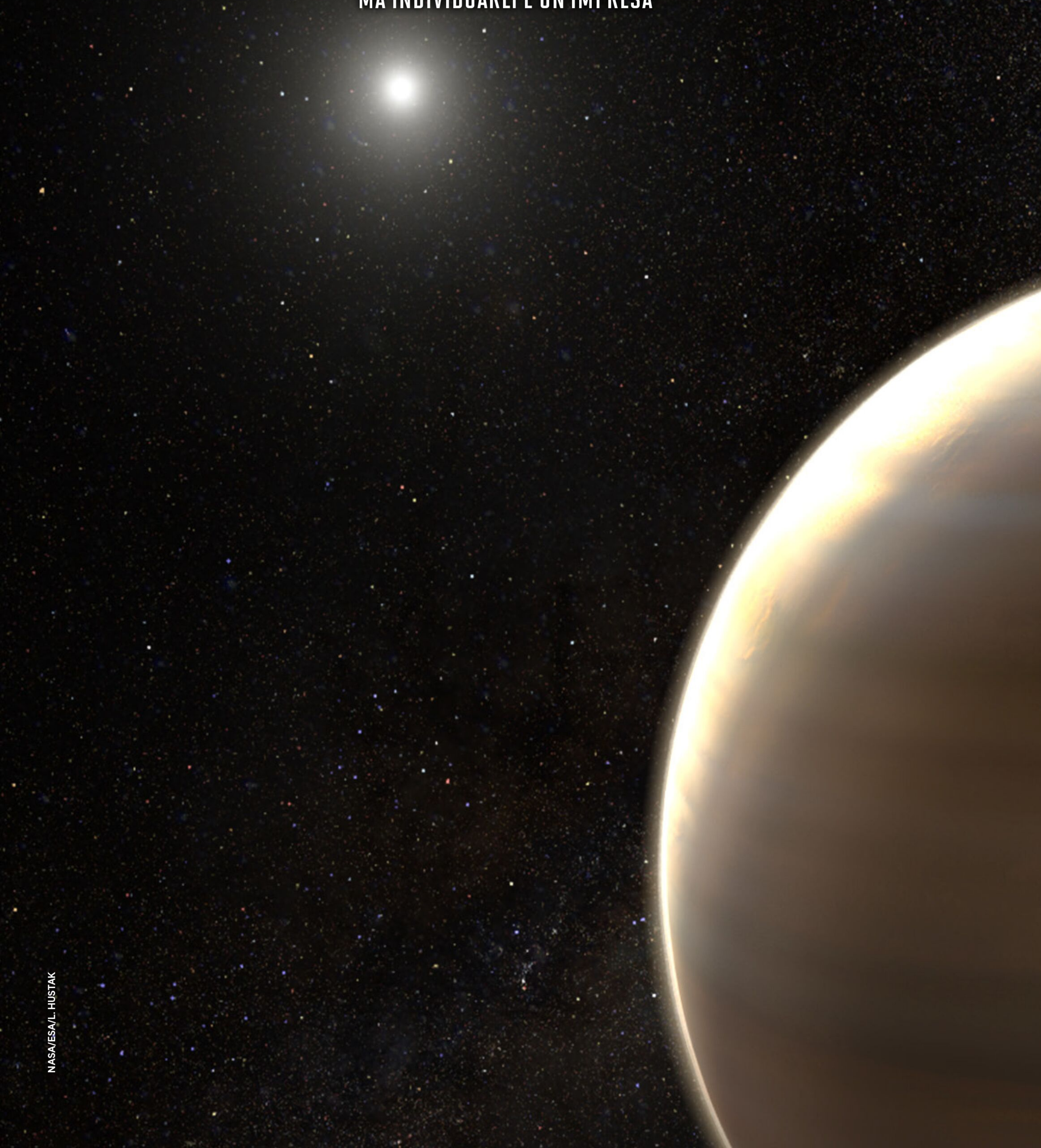
◀ Plutone ripreso da New Horizons. I colori sono esaltati per evidenziare le caratteristiche geologiche della superficie

NASA/JHUAPL/SWRI (X4)

▶ Caronte dista da Plutone 19.640 chilometri. I due corpi, spesso considerati come un pianeta doppio, si rivolgono sempre lo stesso emisfero. Caronte orbita intorno a Plutone ogni 6,4 giorni terrestri

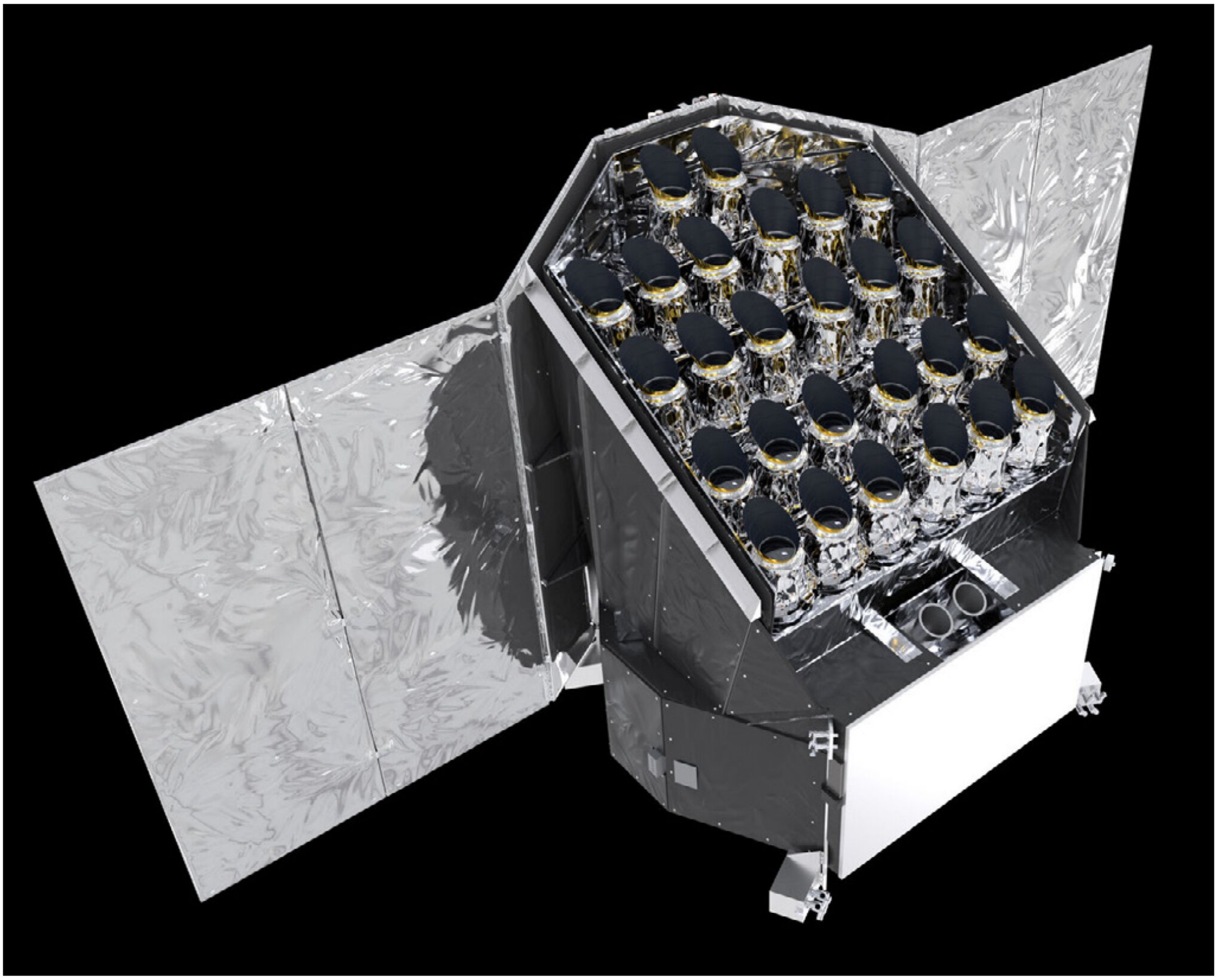
# ESOLUNE

NEL SISTEMA SOLARE I SATELLITI SONO LA REGOLA PIÙ CHE L'ECCEZIONE. LE MIGLIAIA DI ESOPIANETI CHE CONOSCIAMO POTREBBERO AVERNE A LORO VOLTA, MA INDIVIDUARLI È UN'IMPRESA



NASA/ESA/L. HUSTAK

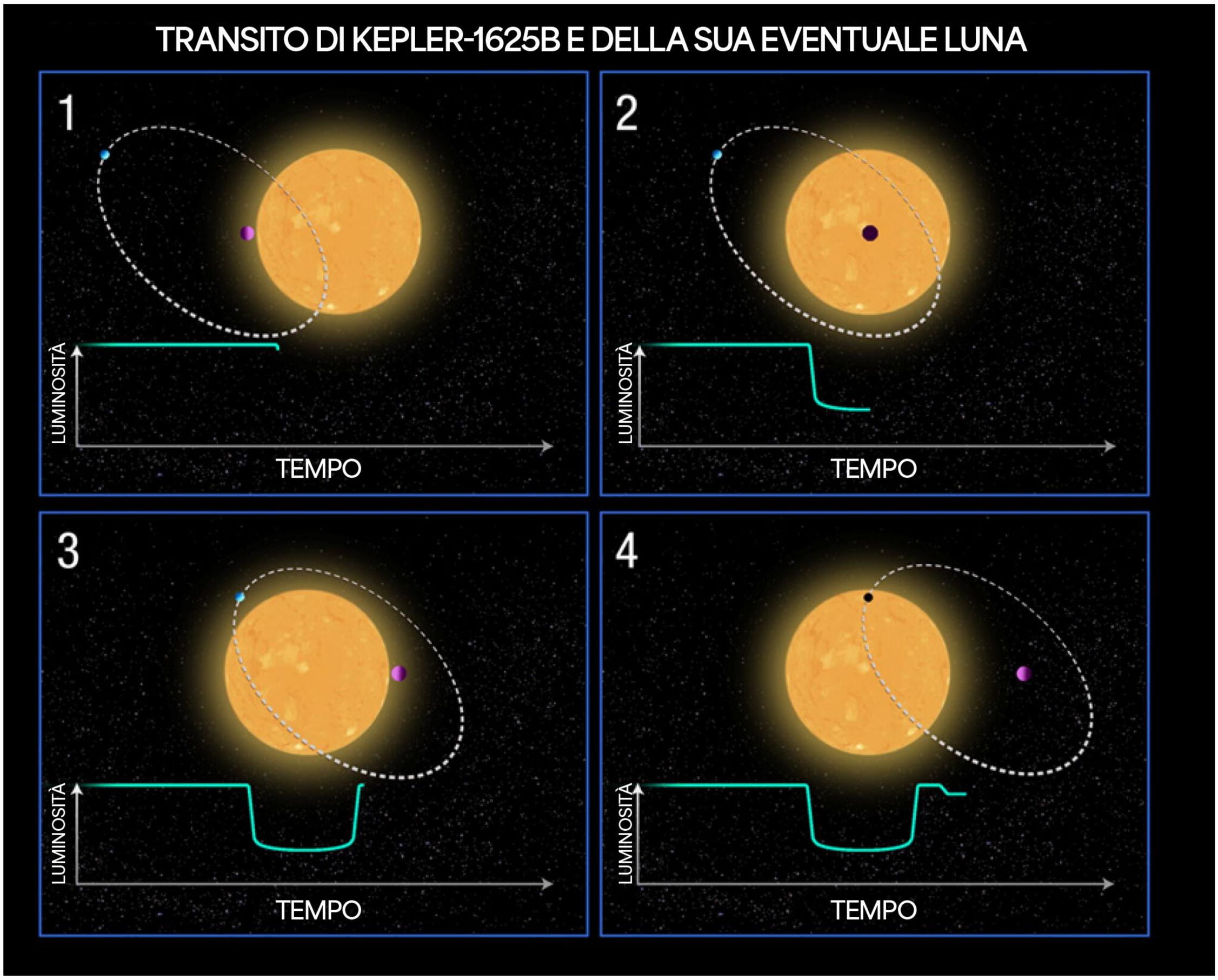
Grazie ai dati dei telescopi spaziali Kepler e Hubble un gruppo di astronomi ha scoperto quella che potrebbe essere la prima luna al di fuori del nostro Sistema solare mai individuata, ma servono ulteriori osservazioni



ESA/ATG MEDIALAB

▲ Illustrazione della sonda Plato. La missione fa parte del programma Cosmic Vision dell'Agenzia spaziale europea

A lungo ci siamo chiesti se il Sistema solare fosse unico nel cosmo. Nel dialogo *De l'infinito, universo e mondi*, pubblicato nel 1584, Giordano Bruno ipotizzava l'esistenza di pianeti in orbita intorno alle altre stelle in un sistema tolemaico. Un secolo più tardi, nel suo più celebre trattato *Philosophiae naturalis principia mathematica* Isaac Newton ribadiva l'idea. Le speculazioni sono proseguite nei secoli successivi, insieme a presunte scoperte regolarmente smentite, finché nel 1995 abbiamo avuto la prima conferma. Le variazioni nella velocità radiale della stella 51 Pegasi, osservate analizzando il suo spettro luminoso, erano da attribuire al moto di un esopianeta, battezzato 51 Pegasi b (la b indica il primo pianeta di un sistema stellare). La scoperta è valsa il premio Nobel per la fisica agli astrofisici Michel Mayor e Didier Queloz.
Da allora gli annunci si sono moltiplicati e oggi i pianeti extrasolari noti sono 7327, appartenenti a 5023 sistemi planetari. I metodi per individuarli sono diversi, dalla misura della velocità radiale al metodo del transito, basato sul calo di luminosità della stella madre dovuta al passaggio di un pianeta, fino al *microlensing* gravitazionale. Li studiamo da terra e con missioni spaziali dedicate, come Kepler e Tess. Diverso è il discorso per le eventuali lune di questi pianeti. Gli astronomi hanno sempre saputo che individuarle non sarebbe stata un'impresa da poco e il dibattito in corso lo conferma.
Il primo annuncio risale al 2018, quando un gruppo di astronomi della Columbia University ha dichiarato di avere individuato per la prima volta una esoluna intorno all'esopianeta Kepler-1625b, a circa 8000 anni luce dalla Terra. La scoperta è stata in apparenza confermata con i dati del telescopio spaziale Hubble. Nel 2022, un altro team ha individuato una seconda candidata intorno a Kepler-1708b, un gigante gassoso a circa 5400 anni luce dalla Terra con una massa 4,6 volte superiore a quella di Giove. Nel 2023 però le due scoperte sono state messe in dubbio da un terzo gruppo di scienziati, stavolta del Max Planck Institute for Solar System Research "René Heller".
La tecnica usata per individuare le due presunte lune si basa sul metodo del transito. Per l'ana-




NASA, ESA, D.KIPPING (COLUMBIA UNIVERSITY) E A.FEILD (STSCI)

lisi dei dati servono però software dedicati e algoritmi potenti. La scelta su quali usare e come trattare i dati può fare la differenza. Le critiche alla presunta scoperta si basano sulla mancanza di conferme con altre analisi e su spiegazioni alternative ai risultati. Allo stesso modo, la difesa indica nell'algoritmo usato dall'altro gruppo il punto debole della critica: la luna è descritta nei dati ma il software non è in grado di trovarla. La discussione dimostra quanto sia ancora difficile avere certezze in questo campo di studi, ma è anche la conferma di come le affermazioni scientifiche siano raramente nette. Dietro ogni risultato c'è un grado più o meno elevato di incertezza e il percorso per arrivare a una risposta condivisa richiede piccoli passi e prove robuste.

Uno studio del 2020 ha proposto una tecnica alternativa per individuare le esolune. L'interazione gravitazionale tra un pianeta e la sua luna determina una variazione nel tempo di transito del pianeta. Misurando questa variazione si può inferire la presenza della luna, invisibile direttamente all'osservazione. Con questo sistema, il telescopio spaziale Kepler puntato sul sistema solare con il giusto allineamento avrebbe potuto scoprire la nostra Luna, che determina una variazione del tempo di transito della Terra fino a 2 minuti e 30 secondi. Gli autori dello studio hanno proposto sei candidate.

In totale, al momento in cui scriviamo, sono una ventina le esolune sulle quali si sta indagando, ma il numero è in continuo aggiornamento. Le prime che troveremo saranno probabilmente esemplari insoliti: con la tecnologia attuale potremmo individuarne di grandi almeno il doppio di Ganimede, quindi quasi come la Terra.

Nel 2026 dovrebbe partire la missione Plato, acronimo di PLAnetary Transits and Oscillations of stars, dell'Agenzia spaziale europea. Le sue ventisei telecamere gli permetteranno di massimizzare il rapporto tra segnale e rumore e allargare il campo di vista per caratterizzare centinaia di pianeti rocciosi, ghiacciati o giganti, fornendo misure accurate dei loro raggi (precisione del 3%), delle masse (precisione migliore del 10%) e delle età (precisione del 10%). Scoprirà anche la prima esoluna? ■

▲ Rilevazioni fotometriche del telescopio spaziale Hubble del pianeta Kepler-1625b che passa davanti alla sua stella madre. Il calo di luminosità della stella viene registrato su una curva di luce (linea verde in basso). Al termine del transito, durato 19 ore, gli astronomi hanno notato un secondo calo, più piccolo, circa tre ore e mezza dopo (diagramma 4), interpretato come la firma di una luna che segue il pianeta

ASTROFILI

La Luna dal balcone

# TRUCCHI PER UNO SCATTO PERFETTO

CON UN TELEOBIETTIVO O UN TELESCOPIO, UNA MACCHINA FOTOGRAFICA O UN SEMPLICE TELEFONO, IL NOSTRO SATELLITE PUÒ DARE GRANDI SODDISFAZIONI

◀ La Luna ripresa alle 6,21 durante l'eclissi totale del 21 gennaio 2019. Fotocamera bridge con zoom a 10x. Come si può notare, la risoluzione non è elevata, per il motivo spiegato nel testo

Dopo le prime osservazioni dirette, chi si accosta all'astronomia in genere desidera provare anche l'esperienza di immortalare ciò che vede. Questo desiderio spesso è frenato dall'idea che sia molto difficile, ben altra cosa che effettuare fotografie comuni. In molti casi indubbiamente è vero. Per esempio, riprendere i dettagli del disco di Marte non è un'operazione banale. Ma se da un lato vi sono immagini ottenibili solo con strumentazioni molto sofisticate e da persone assai esperte, dall'altro vi sono immagini di realizzazione veramente facile e alla portata di chiunque.
L'astro da mettere al primo posto per facilità di ripresa è senza dubbio la Luna: è luminosa come i panorami terrestri e ci appare abbastanza grande, molto più dei pianeti.

## Due classici errori

Chi fotografa per la prima volta la Luna in genere valuta erroneamente due fattori: luminosità e dimensione, sottovalutando la prima e sopravvalutando la seconda. Impostando la posa, si sceglie tipicamente un tempo lungo, ad esempio di un secondo o più anche in condizioni di Luna piena. A determinare l'errore è il fatto che la Luna si vede al meglio di notte. Ma a noi interessa il disco luminoso della Luna, non il cielo buio circostante. A titolo di esempio si tenga presente che impostando come sensibilità anche solo 100 ISO un'esposizione corretta si ha con circa 1/100 di secondo (con obiettivo dotato di apertura o diaframma medio).
Se di notte fotografiamo la Luna con il cellulare come si fotografa un paesaggio, otteniamo una forte sovraesposizione, cioè una macchia luminosa con il cielo scuro circostante. Non può essere altrimenti perché – giustamente – la fotocamera del cellulare fa una media di ciò che inquadra. Agendo su correzioni spesso possibili con quasi tutti i cellulari, è però possibile ridurre il tempo di esposizione in modo tale da evitare la sovraesposizione e rendendo visibili i "mari" lunari. Lo stesso discorso si applica alle macchine fotografiche vere e proprie, con obiettivo normale o grandangolare.
L'altro classico errore di chi inizia a fotografare la Luna consiste nel sovrastimarne le dimensioni, soprattutto quando la Luna è prossima all'orizzonte. Il diametro angolare della Luna (½ grado) è così piccolo che la si copre totalmente col nostro dito mignolo tenuto alla distanza del braccio. Per fare un esempio, la Luna piena ci appare grande come una moneta da 1 centesimo di euro vista alla distanza di 1,7 m! Questo valore si traduce nel sensore in una dimensione che è circa 1/100 della focale dell'ottica utilizzata. Nel formato fotografico APS-C, da circa 23x15 mm, la focale considerata normale è quella sui 30 mm e quindi sul sensore si ha un'immagine da soli 0,3 mm di diametro! Ne consegue che, anche ingrandendo, i dettagli visibili del disco lunare saranno veramente pochi. Questo non significa che non si debba usare un'ottica con ▶

▼ La Luna in fase gibbosa calante fotografata con un comune cellulare senza alcuna precauzione. Poiché l'automatismo ha fatto una media tra il fondo scuro del cielo e il disco luminoso della Luna, quest'ultima è risultata fortemente sovraesposta: a mala pena si nota la fase gibbosa. Questa foto, come le altre in cui non è indicato l'autore, sono di Walter Ferreri

◀ Recentemente sono apparsi sul mercato telescopi che non solo sono del tutto computerizzati ma anche completi di sensore interno, che fotografa ed elabora l'immagine degli oggetti puntati, dal Sole alle galassie. Qui vediamo che cosa uno di questi (Unistellar Odyssey da 85 mm di diametro e 320 mm di focale) è in grado fare con la Luna. Da notare che questi strumenti richiedono solo di essere messi in piano e poi li si gestisce comodamente da cellulare o tablet. Foto di Emidio Zappacosta

questa focale, ma piuttosto che la Luna così fotografata dà soddisfazione solo se è inserita in un contesto paesaggistico, soprattutto al suo sorgere e tramontare e magari con la presenza di nubi. Paesaggi dove spesso la Luna è più un ornamento che il soggetto vero e proprio.

Se invece interessa riprendere solo la Luna, allora è bene considerare altre soluzioni. Una si ha già con certi cellulari molto evoluti, dotati di un'ottica tele in grado di fornirne un'immagine già interessante. Lo stesso si può dire di molte fotocamere compatte con lo zoom spinto al massimo. Sotto quest'ultimo profilo si rivelano molto interessanti diverse fotocamere definite "bridge". Sono quelle che rappresentano una via di mezzo tra le compatte e le reflex, un "ponte" fra le due, come indica il nome inglese. Dimensioni generose poi si ottengono con potenti teleobiettivi di cui è possibile dotare le camere più evolute, vale a dire reflex e mirrorless.

Ma naturalmente le fotografie più dettagliate si ottengono con i telescopi, che anche nei modelli più piccoli hanno focali superiori alla maggior parte dei teleobiettivi fotografici. Ad esempio, un economico telescopio a lenti o rifrattore da 60 mm di diametro ha già una focale sui 700 mm.

▲ Sottoesponendo si ottiene un'immagine correttamente esposta, ma la focale molto corta dell'ottica del cellulare consente di vedere sul disco lunare pochi dettagli

## Problemi al telescopio

Quando si fotografa la Luna attraverso un telescopio si riscontrano altri problemi rispetto ai teleobiettivi. Il primo è costituito dal collegamento della macchina allo strumento. In genere si risolve con un apposito raccordo, che si può acquistare come optional dall'importatore del telescopio o chiedere di costruire a

un artigiano o un comune tornitore. Nel caso dei cellulari, sono diversi i produttori di economici raccordi per telescopio. Con un cellulare è possibile fotografare l'immagine ottenuta con un telescopio semplicemente accostando il telefono all'oculare del telescopio, proprio come si fa con un nostro occhio. Ma con un cellulare è difficile inquadrare esattamente l'immagine, poiché la tolleranza è più o meno di 1 mm. Inoltre è difficile tenere fermo il telefono ed evitare un'immagine distorta. Allo scopo è infinitamente meglio un collegamento meccanico, anche in considerazione del basso costo.

▲ Se con un telescopio da 20 cm anziché una reflex si utilizza un cellulare, come in questo caso, i risultati sono altrettanto buoni, ma possono comparire residui di aberrazione cromatica ai bordi o leggere deformazioni

Se invece del cellulare si vuole collegare una fotocamera, bisogna considerare che il peso potrebbe sbilanciare il telescopio, se questo è piccolo. Se il tubo non può scorrere dove è incernierato al supporto, occorre aggiungere un peso all'obiettivo dalla parte opposta a quella in cui si è montata la fotocamera.
Naturalmente il tempo di esposizione rimane lo stesso che si usava con gli obiettivi fotografici. Per esempio, se il nostro telescopio ha un rapporto d'apertura di f/11, con una sensibilità impostata su 100 ISO si avrà un tempo di esposizione di 1/60 di secondo (con Luna piena). La tabella indica i tempi con sensore impostato su 400 ISO e rapporto d'apertura o diaframma di f/11.

| FASE LUNARE | TEMPO DI ESPOSIZIONE (in secondi) |
|---|---|
| Luna piena | 1/250 |
| Luna in fase gibbosa | 1/125 |
| Luna ai quarti | 1/60 |
| Luna al 4° e 25° giorno | 1/30 |
| Luna al 2° e 27° giorno | 1/15 |
| Luce cinerea al 2° e 27° giorno | 15 |

Con la Luna piena, gibbosa e ai quarti ci si può affidare tranquillamente agli automatismi, che forniranno un'esposizione corretta. Quando, però, la Luna è sotto forma di falce, occorre ▶

Un risultato classico: reflex a formato pieno senza obiettivo collegata a un telescopio da 20 cm senza oculare da 2 m di distanza focale. Foto di Renato Dello Stritto

Con lo zoom regolato alla massima focale delle fotocamere compatte o bridge a 25-30x e con alcuni cellulari è possibile avere riproduzioni già piuttosto dettagliate della Luna, come in questa immagine che Emidio Zappacosta ha ottenuto con uno smartphone molto evoluto

correggere con -1, -2 o anche -3 stop per avere un'esposizione corretta, altrimenti si ha una sovraesposizione. Per fortuna il digitale permette di vedere subito il risultato ed eventualmente correggere subito. Per fotografare la luce cinerea, ovvero il debole chiarore che si vede sul resto del disco quando la Luna appare come una falce sottile, conviene impostare la sensibilità su valori alti per diminuire il tempo di esposizione. Ad esempio 3200 ISO, così il tempo si riduce a 2 o anche 1 secondo.

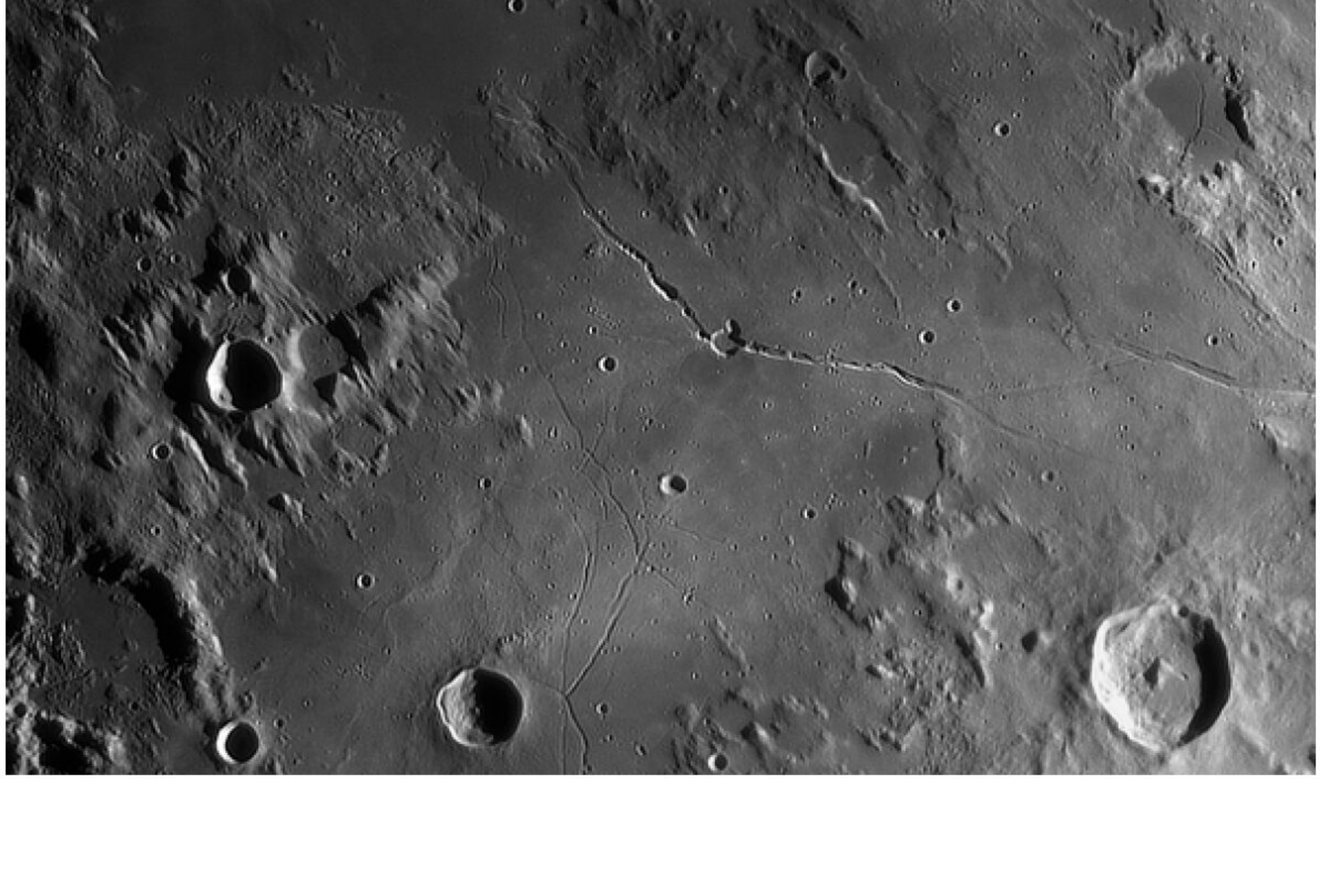
Però quasi sempre, fotografando al telescopio, non si ha la messa a fuoco automatica; occorre regolare manualmente il fuoco come quando si osserva direttamente all'oculare. In questi casi è molto utile potere ingrandire preventivamente l'immagine che si presenta nel mirino o schermo, così si ottiene una focalizzazione più critica.

Un ostacolo che può sorgere quando si fotografa al telescopio (ma anche con forti teleobiettivi) è il rischio di produrre vibrazioni quando si preme col dito sul pulsante di scatto. Per evitarle l'ideale è un supporto robusto e un buon bilanciamento. Ma anche con supporti mediocri è possibile evitare o quanto meno ridurre drasticamente questo rischio utilizzando un flessibile, un telecomando o l'autoscatto. Questi accorgimenti sono consigliabili anche se si dispone di un buon supporto.

La focale ideale per ottenere una buona riproduzione di tutto il disco della Luna con il formato pieno (24x36 mm) è quella che spazia fra 1600 e 2000 mm, mentre con la maggior parte delle reflex digitali e mirrorless, che utilizzano l'APS-C, fra 800 e 1000 mm. In questo caso si collega il corpo reflex o mirrorless al telescopio senza oculare. Cioè si utilizza il telescopio come se fosse un obiettivo della fotocamera. Di norma, fino a lunghezze di 1000 mm non ci sono problemi con la turbolenza atmosferica, a eccezione di quando la Luna sorge o tramonta. In tali circostanze, la sua immagine, oltre a essere deformata dalla rifrazione atmosferica, è spesso resa poco nitida, e tale mancanza di nitidezza si manifesta anche con focali inferiori al mezzo metro.

Per arrivare ad avere fotografie molto dettaglia-

▼ Quando si utilizza un telescopio con un buon diametro, per sfruttarne appieno il potere risolutivo occorre un'elaborazione al computer. Così ha fatto Aldo Tonon per ottenere questa foto molto dettagliata della regione del solco di Hyginus (parte centrale della Luna). Telescopio da 23,5 cm e sensore (CCD) da 5,6x3,1 mm



te della Luna (o del Sole e dei pianeti) occorre, oltre naturalmente a un telescopio con un diametro di almeno 12-15 cm, raccogliere molte immagini e poi - tramite appositi programmi - sommarle ed elaborarle al computer.

## Telescopi senza problemi

Da alcuni anni sono disponibili telescopi totalmente computerizzati e dotati di un sensore interno per la ripresa fotografica. A differenza di quelli della generazione precedente, non richiedono alcuna informazione, cioè non occorre fornire data, né orario, né coordinate. Basta metterli in piano (tramite la bolla di cui sono dotati) e lanciare una app precedentemente scaricata, indicando ciò che si desidera fotografare. Le immagini, che vengono anche elaborate, finiscono direttamente sul cellulare o sul tablet. Alcuni di questi telescopi dispongono, oltre che dell'esposizione, anche della messa a fuoco automatica: una comodità impagabile. Per il momento l'unica limitazione che hanno nella fotografia della Luna è la risoluzione moderata a causa della focale molto breve. Per questo la definizione è paragonabile più a quella ottenuta con teleobiettivi che non con telescopi (sia pure piccoli).

## Eclissi di Luna

L'eclissi di Luna può essere di penombra, parziale o totale.

Durante le eclissi di penombra la diminuzione di luminosità del disco lunare è molto contenuta e quindi ci si comporta come quando si fotografa una comune Luna piena. Lo stesso discorso si applica in quelle parziali quando la parzialità è limitata, ad esempio, fino al 20 o 30%. Ma quando la parzialità è maggiore vale la pena esporre anche per la parte immersa nell'ombra terrestre. E qui emergono i vantaggi dei sensori più grandi. Infatti in quelli piccoli, che equipaggiano gli smartphone, le fotocamere compatte e le bridge, quando si riprendono oggetti deboli (come la superficie lunare immersa nell'ombra terrestre) un programma interno provvede a "unire" diversi pixel in modo d'avere più sensibilità. Ma quest'operazione, se da un lato dà maggiore sensibilità, dall'altro diminuisce la risoluzione. Ne consegue che se con una bridge otteniamo un'immagine molto dettagliata di una comune Luna piena, con la Luna in eclisse l'immagine risulterà decisamente meno definita. Con i sensori grandi questa operazione non è necessaria: una reflex o una mirrorless forniscono immagini più dettagliate. ■

### PROSSIME ECLISSI TOTALI VISIBILI DALL'ITALIA

| DATA | INIZIO | FASE MASSIMA | FINE |
|---|---|---|---|
| **7 settembre 2025** | 17h26m | 19h11m | 20h56m |
| **31 dicembre 2028** | 16h07m | 17h52m | 19h36m |
| **26 giugno 2029** | 2h32m | 4h21m | 6h11m |
| **20 dicembre 2029** | 21h54m | 23h41m | 1h28m |
| **18 ottobre 2032** | 18h23m | 20h02m | 21h40m |

I tempi sono espressi in ora solare: quando è in vigore l'orario legale estivo occorre aumentare di un'ora.

▼ Con un telescopio anche piccolo si colgono dettagli più fini di quelli accessibili alle fotocamere bridge. Qui vediamo il risultato ottenuto applicando un corpo reflex a un telescopio da 80 mm

# GALLERIA DEI LETTORI

## IL VOSTRO SAFARI FOTOGRAFICO

## ◀ Luna piena
**SAMUELE DRAGHI**

- **Telescopio:** Celestron C8
- **Montatura:** equatoriale (originale fine anni ’70 - inizio anni ’80)
- **Camera:** Sony alpha 58
- **Elaborazione:** Registax, Autostakkert, ICE (mosaico)
- **Località:** Saronno

## ▲ Luna e Venere
**DAVID HOSKIN**

- **Telescopio:** Orion ED80T CF
- **Montatura:** Sky-Watcher Star Adventurer
- **Camera:** Canon EOS Rebel T3i
- **Esposizione:** ISO 400, 1/400 e 0,5 secondi
- **Elaborazione:** MS Photo, Photoshop
- **Località:** Halifax, Nova Scotia, Canada
- **Data:** 9 novembre 2023

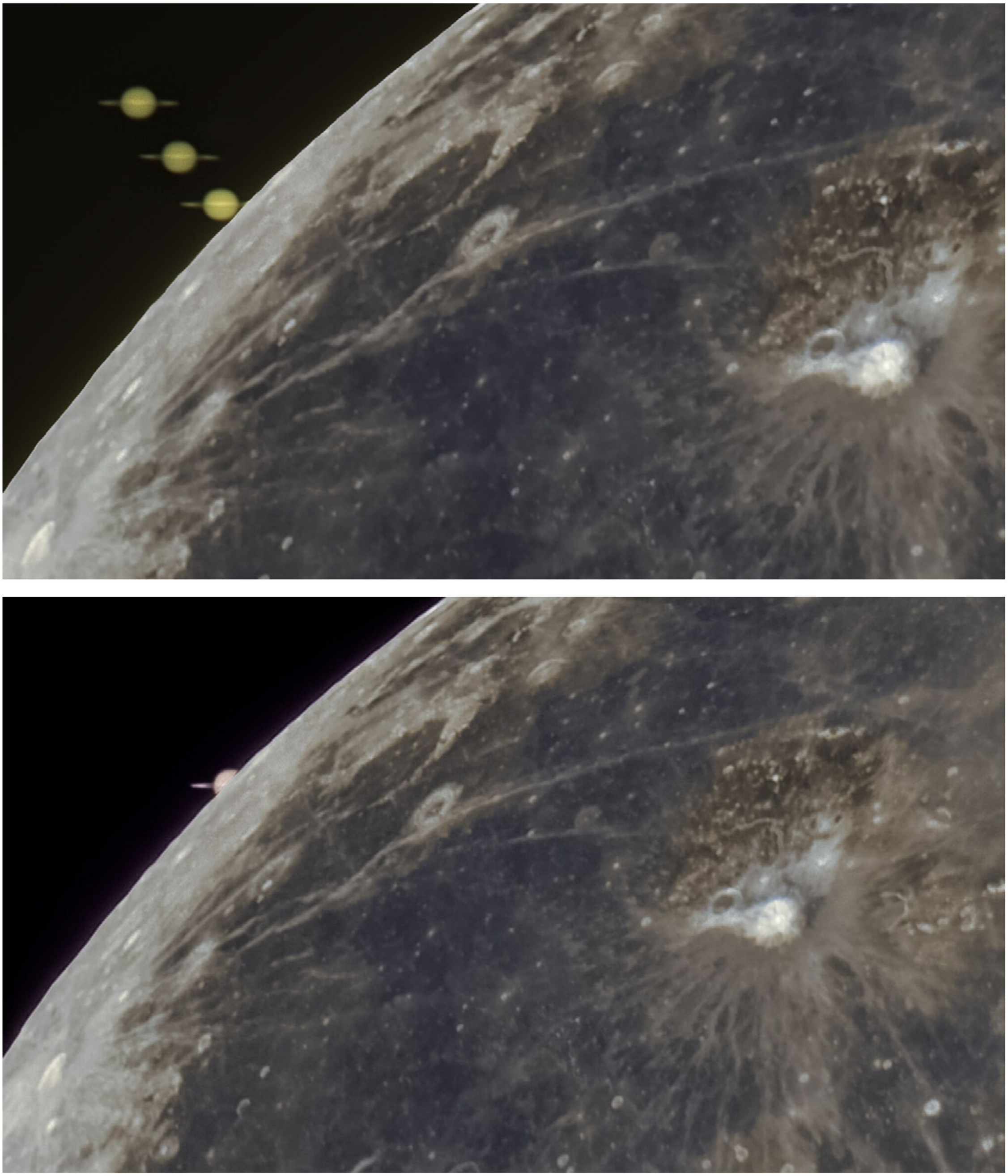
## ▲ Luna e Pleiadi

**FAUSTO LUBATTI**

- **Telescopio:** Meade LXD55
- **Camera:** Sony ILCE-7RM4
- **Teleobiettivo:** FE 100-400mm F4.5-5.6 GM OSS
- **Pleiadi:** 10 secondi, ISO 400, f/ 5.6, F=300.0 mm
- **Luna:** 1/200 di secondo, ISO100, f/ 5.6, F=300.0 mm
- **Elaborazione:** Sony Edit 3.6.00.01200, Gimp 2.10.34

Somma di due immagini

- **Località:** Coli (PC), Sella dei Generali (1218 m)
- **Data:** 2 ottobre 2023



## Occultazione di Saturno

**EGIDIO VERGANI**

- **Telescopio:** Celestron C8
- **Montatura:** Ioptron Gem28
- **Camera:** Asi 224mc
- **Data:** 21 agosto 2024
- **Elaborazione:** *mineral moon*

per evidenziare i colori della Luna

## Cratere Gutenberg

**LUIGI MORRONE**

- **Telescopio:** C14 Edge HD
- **Montatura:** Fornax 52
- **Camera:** Player One Astronomy One Saturn
- **Filtri:** Barlow FFC Baader, Optolong G
- **Elaborazione:** Pixinsight and PS
- **Località:** Agerola
- **Data:** 13 aprile 2024

## Primo quarto

**STEVE WHITFIELD**

- **Telescopio:** Meade Maksutov DS-2102
- **Smartphone:** Samsung A22
- **Esposizione:** ISO 10 f/1.8, 1/33 di secondo
- **Località:** Redruth, UK
- **Data:** 19 dicembre 2023

LA LUNA

Bimestrale - prezzo di copertina 12,90 € - sk@sprea.it

**La Divisione Scienza di Sprea edita anche:**
BBC SCIENZE - BBC SKY AT NIGHT

**Cover:** Luca Patrian
**Coordinamento:** Milena Sacchi

Realizzazione editoriale a cura di: Sered Srl
Consulenza tecnica: Piero Bianucci, Alberto Agliotti, Walter Ferreri, Aldo Ferruggia, Giancarlo Riolfo
Impaginazione: Lunasia Edizioni Srl

**Sprea S.p.A.**
**Fondata nel 1993 da Mario Sprea**
Sede Legale: Via Torino, 51 20063 Cernusco Sul Naviglio (Mi) - Italia
PI 12770820152- Iscrizione camera Commercio 007463501

CDA: Luca Sprea (Presidente), Alessandro Agnoli (Amministratore Delegato), Mario Sprea, Giulia Spreafico, Stefano Pernarella

## ADVERTISING, SPECIAL PROJECTS & EVENTS
Segreteria: Emanuela Mapelli - Tel. 02 92432244 - emanuelamapelli@sprea.it

## SERVIZIO QUALITÀ EDICOLANTI E DL
Sonia Lancellotti, Luca Majocchi: Tel. 02 92432295
distribuzione@sprea.it - 351 5582739

## ARRETRATI
**Arretrati:** si acquistano on-line su www.sprea.it/arretrati
abbonamenti@sprea.it 329 3922420

## FOREIGN RIGHTS
Paolo Cionti: Tel. 02 92432253 - paolocionti@sprea.it

## SERVIZI CENTRALIZZATI
Art director: Silvia Taietti
Grafici: Alessandro Bisquola, Nicole Bombelli, Tamara Bombelli, Nicolò Digiuni, Marcella Gavinelli, Luca Patrian
Coordinamento: Chiara Civilla, Tiziana Rosato, Roberta Tempesta, Silvia Vitali
Amministrazione: Erika Colombo (responsabile), Irene Citino, Desirée Conti, Sara Palestra - amministrazione@sprea.it
Ufficio Legale: Francesca Sigismondi

BBC Sky At Night, registrata al tribunale di Milano il 10/4/2006 con il numero 241.
ISSN: 2974-8712.
Autorizzazione ROC n° 6282 del 29/08/2001

**Direttore responsabile:** Luca Sprea

**Distributore esclusivo per l'Edicola (Italia):** Press-Di Distribuzione stampa e multimedia S.r.l. 20090 Segrate (MI)

**Distributore esclusivo per la Libreria**: A.L.I. Srl - via Milano 73/75, 20010 Cornaredo (MI) Tel. 02 99762430-1-2 - www.alilibri.it - info@alilibri.it

**Distributore esclusivo per l'Edicola (Estero):** SO.DI.P S.p.A. Via Bettola, 18- 20092 Cinisello Balsamo (MI) Tel. +39 02 66030400 - Fax +39 02 66030269 - sies@sodip.it - www.sodip.it

**Stampa:** Arti Grafiche Boccia S.p.A.Via Tiberio Claudio Felice,7- 84131 Salerno



**Copyright:** Sprea S.p.A

**Informativa su diritti e privacy**
La Sprea S.p.A. è titolare esclusiva della testata BBC Sky At Night e di tutti i diritti di pubblicazione e diffusione in Italia. L'utilizzo da parte di terzi di testi, fotografie e disegni, anche parziale, è vietato. L'Editore si dichiara pienamente disponibile a valutare – e se del caso regolare – le eventuali spettanze di terzi per la pubblicazione di immagini di cui non sia stato eventualmente possibile reperire la fonte. Informativa e Consenso in materia di trattamento dei dati personali GDPR Reg. UE 679/2016 e del Codice Privacy d.lgs. 196/03 cosi come modificato dalle disposizioni di adeguamento alla Legge Italiana D.Lgs 101/2018. Nel vigore del GDPR Reg. UE 679/2016 e del Codice Privacy d.lgs. 196/03 cosi come modificato dalle disposizioni di adeguamento alla Legge Italiana D.Lgs 101/2018. artt. 24 e 25, è Sprea S.p.A. (di seguito anche "Sprea"), con sede legale in Via Torino, 51 Cernusco sul Naviglio (MI). Sprea S.p.a. tratta i dati identificativi e particolari eventualmente raccolti nell'esercizio della prestazione contrattuale. La stessa La informa che i Suoi dati eventualmente da Lei trasmessi alla Sprea S.p.a., verranno raccolti, trattati e conservati nel rispetto del decreto legislativo ora enunciato e nel pieno rispetto dell'art. 32 GDPR Reg. UE 679/2016 per le finalità di trattamento previste per adempiere agli obblighi precontrattuali, contrattuali e fiscali derivanti da rapporti con Lei in essere, per le finalità amministrative e di contabilità, (con base giuridica contrattuale), per le finalità derivanti da obblighi di legge ed esercizio di difesa in giudizio, nonché per le finalità di promozione e informazione commerciale la cui unica base giuridica è basata sul consenso libero e incondizionato dell'interessato, nonché per le altre finalità previste dalla privacy policy consultabile sul sito www.sprea.it, connesse all'azienda. Si informa che, tenuto conto delle finalità del trattamento come sopra illustrate, il conferimento dei dati necessari alle finalità è libero ma il loro mancato, parziale o inesatto conferimento potrà avere, come conseguenza, l'impossibilità di svolgere l'attività e gli adempimenti precontrattuali e contrattuali come previsti dal contratto di vendita e /o fornitura di prodotti e servizi. La avvisiamo, inoltre, che i Suoi dati potranno essere comunicati e/o trattati (sempre nel rispetto della legge), anche all'estero, da società e/o persone che prestano servizi in favore della Sprea che sono state nominate responsabili del trattamento ai sensi dell'art- 28 GDPR Reg. UE 679/2016. Si specifica che non sono effettuati trasferimenti dei dati al di fuori dell'Unione Europea. Si specifica che Sprea S.p.a non effettua trattamento automatizzato di informazione e dati che produca effetti giuridici che Lal riguardano o che incida in modo analogo significativamente sulla Sua persona. In ogni momento Lei potrà chiedere la l'accesso ai sui dati, la rettifica dei suoi dati, la cancellazione dei suoi dati, la limitazione al trattamento e la portabilità dei suoi dati, nonché poi esercitare la facoltà di opposizione al trattamento dei Suoi dati ovvero esercitare tutti i diritti previsti dagli artt. 15, 16, 17, 18, 20, 21 del GDPR Reg. UE 679/2016 e ss. Modifiche di adeguamento legislativo del D.Lgs. 196/03, così come modificato dal D.Lgs 101/2018, mediante comunicazione scritta alla Sprea e/o direttamente al personale Incaricato preposto al trattamento dei dati. Lei potrà altresì esercitare i propri diritti rivolgendosi al Garante della Privacy, con Sede in Piazza Venezia n. 11 – 00187 Roma, Centralino telefonico: (+39) 06.696771,Fax: (+39) 06.69677.3785. Per informazioni di carattere generale è possibile inviare una e-mail a: garante@gpdp.it @pec.it. Sprea S.p.a. La informa che Lei ha il diritto, ai sensi dell'art. 7 GDPR Reg. UE 679/2016 di revocare il consenso al trattamento dei suoi dati in qualsiasi momento. La lettura della presente informativa deve intendersi quale presa visione dell'Informativa ex art. 13 D.Lgs. 196/03 e 13 GDPR Reg. UE 679/2016e l'invio dei Suoi dati personali alla Sprea varrà quale consenso espresso al trattamento dei dati personali secondo quanto sopra specificato. L'invio di materiale (testi, fotografie, disegni, etc.) alla Sprea S.p.A. deve intendersi quale espressa autorizzazione alla loro libera utilizzazione da parte di Sprea S.p.A. Per qualsiasi fine e a titolo gratuito, e comunque, a titolo di esempio, alla pubblicazione gratuita su qualsiasi supporto cartaceo e non, su qualsiasi pubblicazione (anche non della Sprea S.p.A.), in qualsiasi canale di vendita e Paese del mondo.

**Il materiale inviato alla redazione non potrà essere restituito.**

# FINALMENTE ANCHE IN ITALIA

## LA PIÙ PRESTIGIOSA RIVISTA INTERNAZIONALE DI ASTRONOMIA

Scansiona il QR Code

## IN EDICOLA A

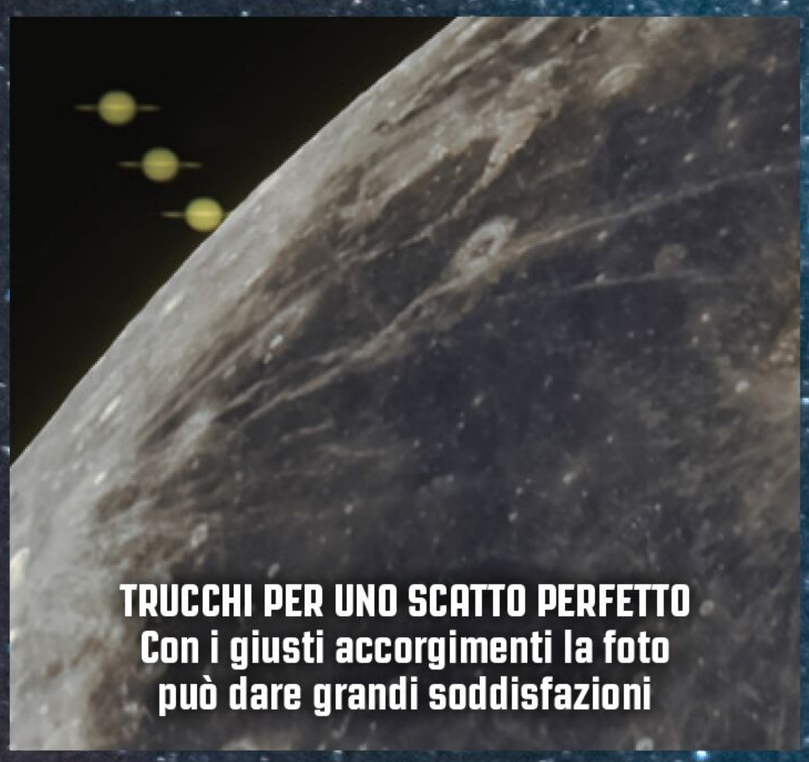
**Evita di perdere la tua copia! ABBONATI SUBITO su www.sprea.it/skyatnight**

# LA LUNA

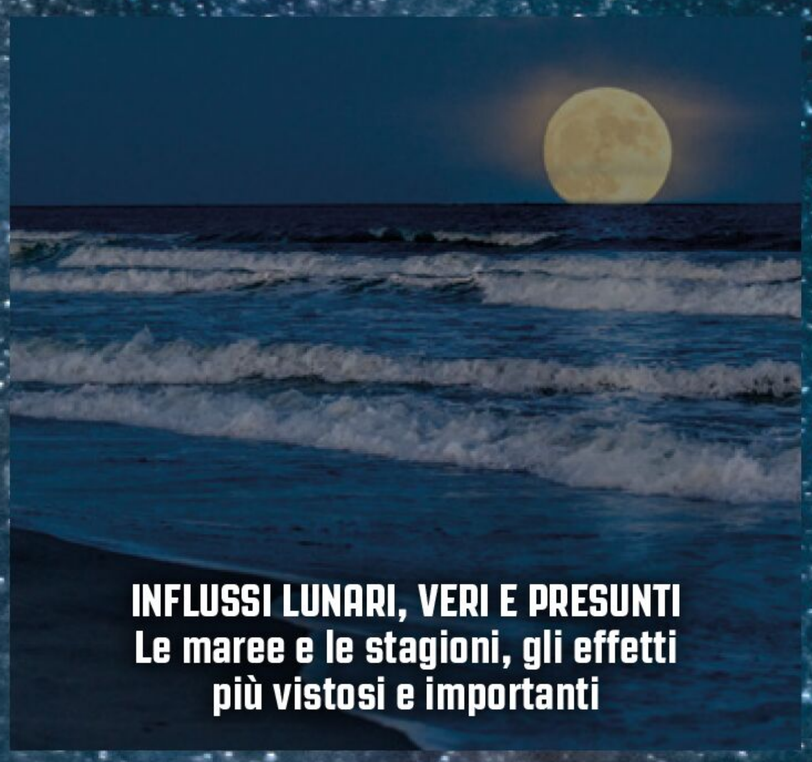
**CRATERI E CIRCHI**
Un mondo crivellato da asteroidi
e meteoriti

**MARI, GOLFI, TERRE E SOLCHI**
Oceani senza acqua disegnati
da impatti di asteroidi

**FACCIA NASCOSTA**
I primi campioni di suolo riportati
dalla sonda Chang'e 6



**TRUCCHI PER UNO SCATTO PERFETTO**
Con i giusti accorgimenti la foto
può dare grandi soddisfazioni



**INFLUSSI LUNARI, VERI E PRESUNTI**
Le maree e le stagioni, gli effetti
più vistosi e importanti

**ALLA SCOPERTA DELLE ESOLUNE**
I satelliti sono la regola
solo nel Sistema solare?

**COMUNE ORIGINE, UN SOLO DESTINO**
Un evento catastrofico
ed ecco la Luna

BBC SKY AT NIGHT SPECIALE N.2 · BIMESTRALE · **12,90 €**
9 772974 871023 40002
P.I. 03-10-2024 OTTOBRE/NOVEMBRE **CONTO DEPOSITO**